

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2005-273513

(P2005-273513A)

(43) 公開日 平成17年10月6日(2005.10.6)

(51) Int.Cl.⁷

F I

テーマコード (参考)

F02D 45/00

F02D 45/00 368Z

3G023

F02B 11/00

F02D 45/00 314B

3G301

F02D 41/38

F02D 45/00 364K

3G384

F02D 41/40

F02B 11/00 A

F02D 41/38 A

審査請求 有 請求項の数 15 O L (全 51 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2004-86098 (P2004-86098)

(22) 出願日 平成16年3月24日 (2004.3.24)

(71) 出願人 000003609

株式会社豊田中央研究所

愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道4 1

番地の1

(71) 出願人 000003207

トヨタ自動車株式会社

愛知県豊田市トヨタ町1 番地

(74) 代理人 110000213

特許業務法人プロスペック特許事務所

(72) 発明者 稲垣 和久

愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道4 1

番地の1 株式会社豊田中央研究所内

(72) 発明者 脇坂 佳史

愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道4 1

番地の1 株式会社豊田中央研究所内

最終頁に続く

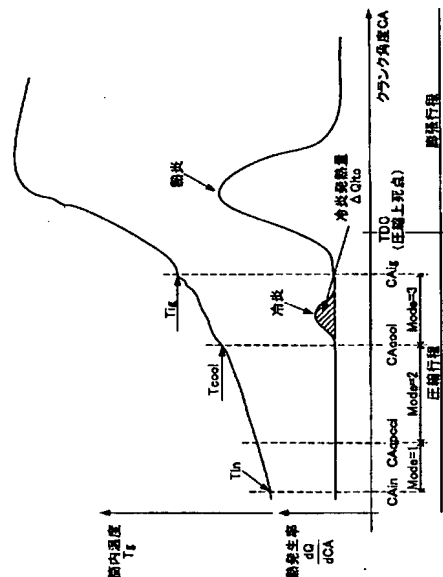
(54) 【発明の名称】 内燃機関の混合気着火時期推定装置、及び内燃機関の制御装置

(57) 【要約】

【課題】 PCCI 燃焼に係わる予混合気の自着火開始時期を、自着火に先立って予混合気の一部に発生する冷炎による発熱量を考慮して精度良く推定すること。

【解決手段】 この混合気着火時期推定装置は、圧縮開始時 (CAin) における筒内ガスの状態量 (圧縮開始時筒内ガスの熱エネルギー) と、圧縮行程における圧縮による筒内ガスの状態量の変化量 (微小ピストン仕事) と、PCCI 燃焼時において自着火 (熱炎) に先立って発生する冷炎による発熱量 (冷炎発熱量 ΔQ_{lto}) と、に基づいて、PCCI 燃焼用の予混合気の温度 (即ち、筒内温度 T_g) をクランク角度CAに対応する形で推定していき、筒内温度 T_g が所定の自着火開始温度 T_{ig} に達した時点と同予混合気のPCCI 燃焼に係わる自着火開始時期 (CAig) として推定する。従って、冷炎発熱量 ΔQ_{lto} が考慮されるから、PCCI 燃焼に係わる自着火開始時期を精度良く推定することができる。

【選択図】 図3



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

圧縮上死点近傍で燃焼室内に噴射される拡散燃焼用の燃料とは異なる同圧縮上死点近傍よりも早期に同燃焼室内に噴射される予混合圧縮着火燃焼用の燃料と、前記燃焼室内のガスである筒内ガスと、が混ざり合っ て予め形成された予混合気 が圧縮により自着火開始する時期を推定する予混合気自着火開始時期推定手段を備える内燃機関の混合気着火時期推定装置であって、

前記筒内ガスが圧縮開始される時点での同筒内ガスの状態量を取得する圧縮開始時筒内ガス状態量取得手段と、

前記筒内ガスの圧縮による同筒内ガスの状態量の変化量を推定する圧縮起因筒内ガス状態量変化量推定手段と、 10

前記予混合気の自着火に先立って発生する冷炎の発熱量に相当する値である冷炎発熱量相当値を推定する冷炎発熱量推定手段と、を備え、

前記予混合気自着火開始時期推定手段は、

少なくとも前記取得された圧縮開始時筒内ガス状態量と、前記推定された圧縮起因筒内ガス状態量変化量と、前記推定された冷炎発熱量相当値と、に基づいて前記予混合気自着火開始時期を推定するように構成された内燃機関の混合気着火時期推定装置。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の内燃機関の混合気着火時期推定装置において、

前記冷炎発熱量推定手段は、 20

少なくとも前記予混合圧縮着火燃焼用の燃料の噴射量と、前記燃料の性状と、前記燃焼室内に吸入される吸気中の酸素濃度と、前記筒内ガスの密度と、に基づいて前記冷炎発熱量相当値を推定するように構成された内燃機関の混合気着火時期推定装置。

【請求項 3】

請求項 1 又は請求項 2 に記載の内燃機関の混合気着火時期推定装置において、

前記予混合気自着火開始時期推定手段は、

少なくとも前記取得された圧縮開始時筒内ガス状態量と、前記推定された圧縮起因筒内ガス状態量変化量と、前記推定された冷炎発熱量相当値と、に基づいて前記予混合気の温度を推定する予混合気温度推定手段を備えるとともに、

前記推定された予混合気の温度が所定の温度に達した時期を前記予混合気自着火開始時期として推定するように構成された内燃機関の混合気着火時期推定装置。 30

【請求項 4】

請求項 1 乃至請求項 3 の何れか一項に記載の内燃機関の混合気着火時期推定装置であって、

前記予混合圧縮着火燃焼用に前記燃焼室内に噴射される燃料が前記冷炎の開始時期において同燃焼室の内壁面に付着する量を推定する付着量推定手段を更に備え、

前記冷炎発熱量推定手段は、前記推定された付着量を考慮して前記冷炎発熱量相当値を推定するように構成された内燃機関の混合気着火時期推定装置。

【請求項 5】

請求項 1 乃至請求項 3 の何れか一項に記載の内燃機関の混合気着火時期推定装置であって、 40

前記予混合圧縮着火燃焼用に前記燃焼室内に噴射される燃料の噴射開始時期から前記冷炎の開始時期までの経過時間に基づいて、前記予混合気 が前記冷炎の開始時期において同燃焼室の内壁面近傍まで分散する程度を表す値を推定する分散度推定手段を更に備え、

前記冷炎発熱量推定手段は、前記推定された分散する程度を表す値を考慮して前記冷炎発熱量相当値を推定するように構成された内燃機関の混合気着火時期推定装置。

【請求項 6】

請求項 3 に記載の内燃機関の混合気着火時期推定装置であって、

前記冷炎の開始時期における前記予混合気の不均一度を表す値を推定する不均一度推定手段を更に備え、 50

前記予混合気温度手段手段は、前記予混合気の不均一度を表す値を考慮して前記予混合気の温度を推定するように構成された内燃機関の混合気着火時期推定装置。

【請求項 7】

請求項 1 乃至請求項 6 の何れか一項に記載の内燃機関の混合気着火時期推定装置において、

前記予混合気自着火開始時期推定手段は、前記筒内ガスが圧縮開始された後であって前記予混合圧縮着火燃焼用の燃料の噴射開始時期より前の所定の時点にて前記予混合気自着火開始時期の推定を完了するように構成された内燃機関の混合気着火時期推定装置。

【請求項 8】

内燃機関の運転状態量と、同内燃機関を予混合圧縮着火燃焼に適した状態にするための予混合気の自着火開始時期の範囲との関係を規定するためのデータを記憶するデータ記憶手段と、

内燃機関の運転状態量を取得する運転状態量取得手段と、

請求項 7 に記載の内燃機関の混合気着火時期推定装置により推定された今回の作動サイクルにおける前記予混合気自着火開始時期が、前記取得された内燃機関の運転状態量と前記データとに基づいて得られた前記予混合気の自着火開始時期の範囲内にあるか否かを判定する判定手段と、

前記判定手段による判定結果に基づいて、前記今回の作動サイクルにおける燃料噴射形態を制御する燃料噴射形態制御手段と、

を備えた内燃機関の制御装置。

【請求項 9】

請求項 8 に記載の内燃機関の制御装置であって、

前記内燃機関が過渡運転状態にあるとき、燃焼室内に吸入される吸気中の酸素濃度、及び前記燃焼室内のガス量のうち少なくとも一つに応じて前記データを補正するデータ補正手段を更に備えた内燃機関の制御装置。

【請求項 10】

請求項 8 又は請求項 9 に記載の内燃機関の制御装置において、

前記燃料噴射形態制御手段は、

前記推定された今回の作動サイクルにおける前記予混合気自着火開始時期が前記得られた予混合気の自着火開始時期の範囲内にある場合、前記運転状態量に応じて決定される要求燃料噴射量の全量の燃料を予混合圧縮着火燃焼用として圧縮上死点近傍よりも早期に燃焼室内に噴射し、

前記推定された今回の作動サイクルにおける前記予混合気自着火開始時期が前記得られた予混合気の自着火開始時期の範囲から遅い方向に外れている場合、前記要求燃料噴射量の全量の燃料を拡散燃焼用として前記圧縮上死点近傍にて前記燃焼室内に噴射し、

前記推定された今回の作動サイクルにおける前記予混合気自着火開始時期が前記得られた予混合気の自着火開始時期の範囲から早い方向に外れている場合、前記要求燃料噴射量のうちの所定量の燃料を前記予混合圧縮着火燃焼用として前記圧縮上死点近傍よりも早期に前記燃焼室内に噴射するとともに、同要求燃料噴射量のうち残りの量の燃料を前記拡散燃焼用として同圧縮上死点近傍にて同燃焼室内に噴射するように構成された内燃機関の制御装置。

【請求項 11】

請求項 10 に記載の内燃機関の制御装置において、

前記燃料噴射形態制御手段は、

前記推定された今回の作動サイクルにおける前記予混合気自着火開始時期が前記得られた予混合気の自着火開始時期の範囲から早い方向に外れている場合において前記予混合圧縮着火燃焼用として噴射される燃料の前記所定量を、同推定された今回の作動サイクルにおける前記予混合気自着火開始時期を同得られた予混合気の自着火開始時期の範囲内とするために必要な同予混合圧縮着火燃焼用の燃料噴射量に設定するように構成された内燃機関の制御装置。

10

20

30

40

50

【請求項 1 2】

請求項 8 乃至請求項 1 1 の何れか一項に記載の内燃機関の制御装置であって、

前記冷炎の開始時期における前記予混合気の不均一度を表す値を推定する不均一度推定手段を更に備え、

前記判定手段は、前記予混合気の不均一度を表す値を考慮して前記判定を行うように構成された内燃機関の制御装置。

【請求項 1 3】

請求項 8 又は請求項 9 に記載の内燃機関の制御装置であって、

前記燃料噴射形態制御手段は、

前記推定された今回の作動サイクルにおける前記予混合気自着火開始時期が前記得られた予混合気の自着火開始時期の範囲内にある場合、前記運転状態量に応じて決定される要求燃料噴射量の全量の燃料を予混合圧縮着火燃焼用として、圧縮上死点近傍よりも早期の同運転状態量に応じて決定される所定の噴射開始時期から燃焼室内に噴射し、

前記推定された今回の作動サイクルにおける前記予混合気自着火開始時期が前記得られた予混合気の自着火開始時期の範囲から外れている場合、同今回の作動サイクルにおける実際の予混合気自着火開始時期を同得られた予混合気の自着火開始時期の範囲内とするために前記所定の噴射開始時期を補正するとともに、前記運転状態量に応じて決定される要求燃料噴射量の全量の燃料を予混合圧縮着火燃焼用として、前記補正された噴射開始時期から前記燃焼室内に噴射するように構成された内燃機関の制御装置。

【請求項 1 4】

請求項 8 又は請求項 9 に記載の内燃機関の制御装置であって、

前記燃料噴射形態制御手段は、

前記推定された今回の作動サイクルにおける前記予混合気自着火開始時期が前記得られた予混合気の自着火開始時期の範囲内にある場合、前記運転状態量に応じて決定される要求燃料噴射量の全量の燃料を予混合圧縮着火燃焼用として、同運転状態量に応じて決定される所定の噴射圧力をもって圧縮上死点近傍よりも早期に燃焼室内に噴射し、

前記推定された今回の作動サイクルにおける前記予混合気自着火開始時期が前記得られた予混合気の自着火開始時期の範囲から外れている場合、同今回の作動サイクルにおける実際の予混合気自着火開始時期を同得られた予混合気の自着火開始時期の範囲内とするために前記所定の噴射圧力を補正するとともに、前記運転状態量に応じて決定される要求燃料噴射量の全量の燃料を予混合圧縮着火燃焼用として、前記補正された所定の噴射圧力をもって前記圧縮上死点近傍よりも早期に前記燃焼室内に噴射するように構成された内燃機関の制御装置。

【請求項 1 5】

請求項 8 又は請求項 9 に記載の内燃機関の制御装置であって、

前記燃料噴射形態制御手段に代えて、

前記推定された今回の作動サイクルにおける前記予混合気自着火開始時期が前記得られた予混合気の自着火開始時期の範囲から外れている場合に、前記今回の作動サイクルにおける実際の予混合気自着火開始時期を同得られた予混合気の自着火開始時期の範囲内とするために同今回の作動サイクルにおける前記予混合気の温度を所定量だけ増減せしめる予混合気温度調整手段を備えた内燃機関の制御装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、圧縮上死点近傍よりも早期に燃焼室内に噴射される予混合圧縮着火燃焼用の燃料と、燃焼室内のガス（筒内ガス）とが混ざり合って予め形成された予混合気圧縮により自着火を開始する時期を推定する内燃機関の混合気着火時期推定装置に関する。

【背景技術】

【0002】

一般に、直噴式の内燃機関（特に、直噴式のディーゼル機関）においては、圧縮上死点

近傍において圧縮により予め筒内ガスが高温・高圧となっている状態で燃焼室内に燃料が噴射され、この結果、霧化した燃料（燃料噴霧）が燃焼室内を拡散しながら順次自着火して燃焼（即ち、拡散燃焼、ディーゼル燃焼）していくようになっている。

【0003】

係る拡散燃焼においては、燃料噴霧が拡散していく過程において同燃料噴霧の燃料濃度（即ち、空気過剰率 λ 、或いは当量比 ϕ ）が不均一になり、当量比 ϕ が「1」に近い領域（ストイキの領域）では急激な化学反応（熱発生）に伴って NO_x が生成され、また、当量比 ϕ が「1」より大きい領域（リッチな領域）では酸素が不足することに伴ってスモーク、パティキュレートマター等（以下、「PM」と総称する。）が生成される。

【0004】

10

係る NO_x 、PMの発生量を個別に低減するための技術としては従来より種々のものが知られている。しかしながら、 NO_x 、及びPMについては、一方の発生量を低減しようとするとは他方の発生量が増大するというトレードオフが不可避免的に存在し、両者の発生量を同時に低減することは非常に困難であるのが現状である。

【0005】

これに対し、近年、圧縮上死点近傍よりも早期に（筒内ガスが比較的低温・低圧となっている状態で）燃料を噴射するとともに、EGRガス量（EGR率）を増大させることで着火遅れ時間を比較的長期化し、これにより、燃焼室内にて略均一に分散している予混合気を圧縮上死点近傍で自着火させる燃焼形態（以下、「予混合圧縮着火燃焼」、「予混合燃焼」、或いは「PCCI（premixed charged compression ignition）燃焼」と称呼す

20

【0006】

係るPCCI燃焼においては、燃焼室内において十分均一に分散している予混合気が略均一にリーンな状態（当量比 ϕ が「1」より小さい状態）で着火するから、 NO_x 、及びPMが共に発生し難く、この結果、上述した拡散燃焼の場合に比して、 NO_x 、及びPMの発生量が共に大幅に低減されるという大きな利点がある。

【0007】

しかしながら、一方では、略均一にリーンな状態で燃焼室内に広く分散している予混合気全体が同時に着火することに起因して爆発音（ノイズ）が比較的大きくなる傾向がある。係る傾向は予混合気の着火遅れ時間が短すぎる場合（従って、予混合気の自着火開始時期が早すぎる場合）に顕著となる。また、予混合気が略均一にリーンな状態で分散することに起因して失火が発生し易いという傾向もある。係る傾向は予混合気の着火遅れ時間が長すぎる場合（従って、予混合気の自着火開始時期が遅すぎる場合）に顕著となる。換言すれば、PCCI燃焼においては、予混合気の自着火開始時期（或いは、着火遅れ時間）を所定の時期（範囲）になるように精度良く制御する必要があり、そのためには予混合気の自着火開始時期を精度良く推定する必要がある。

30

【0008】

このため、下記特許文献1に記載のディーゼル機関の制御装置は、着火遅れ時間が筒内ガスの圧縮端温度の影響を強く受けることに着目し、筒内ガスの圧縮端温度を求め、同求めた圧縮端温度にのみ基づいて着火遅れ時間（従って、予混合気の自着火開始時期）を推定するようになっている。また、この筒内ガスの圧縮端温度は、圧縮行程における筒内ガスの状態がポリトロプ変化（断熱変化）するとの仮定のもと、圧縮開始時点（吸気弁閉時点）での筒内ガス温度と一般的なポリトロプ変化を表す式とに基づいて求められている。

40

【特許文献1】特開平11-148412号公報

【0009】

ところで、上述したPCCI燃焼においては、予混合気の自着火（従って、熱炎の発生）に先立って、予混合気の一部において低温酸化反応（本明細書、及び本明細書に係わる特許請求の範囲において、「冷炎」と称呼する。）が発生することが知られている。係る冷炎が発生するとその発熱量の影響により筒内ガスの温度が大きく変化し得る。従って、

50

予混合気の自着火開始時期は係る冷炎発熱量に大きく依存すると考えられる。

【0010】

しかしながら、上記文献に記載された装置においては、圧縮行程における筒内ガスの状態がポリトロプ変化するとの仮定のもとで求められた筒内ガスの圧縮端温度にのみ基づいて着火遅れ時間（従って、予混合気の自着火開始時期）が推定されていて、上記冷炎発熱量の影響が全く考慮されていない。従って、予混合気の自着火開始時期を精度良く推定することができないという問題がある。

【発明の開示】

【0011】

本発明は、かかる課題に対処するためになされたものであって、その目的は、PCCI 10
燃焼に係わる予混合気の自着火時期を、自着火に先立って予混合気の一部に発生する冷炎
による発熱量を考慮して精度良く推定できる内燃機関の混合気着火時期推定装置を提供す
ることにある。

【0012】

本発明による内燃機関の混合気着火時期推定装置は、圧縮開始時筒内ガス状態量取得手
段と、圧縮起因筒内ガス状態量変化量推定手段と、冷炎発熱量推定手段と、予混合気自着
火開始時期推定手段と、を備える。以下、個別に説明していく。

【0013】

圧縮開始時筒内ガス状態量取得手段は、筒内ガスが圧縮開始される時点（即ち、吸気弁
が閉弁する時点）での同筒内ガスの状態量を取得する手段である。ここにおいて、筒内ガ
スの状態量は、例えば、筒内ガスの温度、圧力、内部エネルギー等であって、これらに限
20
定されない。また、圧縮開始時筒内ガス状態量取得手段は、圧縮開始時における筒内ガス
の状態量を、センサにより物理的に検出することで取得する手段であっても、所定の計算
により推定することで取得する手段であってもよい。

【0014】

圧縮起因筒内ガス状態量変化量推定手段は、圧縮行程での筒内ガスの圧縮による同筒内
ガスの状態量の変化量を推定する手段である。圧縮起因筒内ガス状態量変化量推定手段は
、例えば、圧縮行程における筒内ガスの状態が断熱変化するとの仮定のもとで同筒内ガス
の状態量の変化量を推定する手段であってもよいし、圧縮行程においてピストンが筒内ガ
スに対して行う仕事を計算し、係る仕事量により筒内ガスの内部エネルギーが変化（増
30
大）することを利用して同筒内ガスの状態量の変化量を推定する手段であってもよい。

【0015】

冷炎発熱量推定手段は、前記予混合気の自着火に先立って発生する冷炎の発熱量に相当
する値である冷炎発熱量相当値を推定する手段である。ここにおいて、冷炎発熱量相当値
は、例えば、冷炎による発熱量（発熱エネルギー）そのもの、冷炎発熱量により上昇する
筒内ガスの温度上昇量等である。

【0016】

この冷炎発熱量は、PCCI 燃焼用の燃料の噴射量、同燃料の性状（例えば、セタン価）
、燃焼室内に吸入される吸気中の酸素濃度、及び冷炎開始時期における筒内ガスの密度
に強く影響を受ける値であることが判っている。従って、前記冷炎発熱量推定手段は、少
40
なくとも前記PCCI 燃焼用の燃料の噴射量と、前記燃料の性状と、前記燃焼室内に吸入
される吸気中の酸素濃度と、前記筒内ガスの密度と、に基づいて前記冷炎発熱量相当値を
推定するように構成されることが好適である。

【0017】

予混合気自着火開始時期推定手段は、PCCI 燃焼用の燃料と筒内ガスとが混ざり合っ
て予め形成された予混合気が圧縮により自着火（熱炎）開始する時期を推定する手段であ
って、少なくとも前記取得された圧縮開始時筒内ガス状態量と、前記推定された圧縮起因
筒内ガス状態量変化量と、前記推定された冷炎発熱量相当値と、に基づいて前記予混合気
自着火開始時期を推定するように構成される。ここにおいて、予混合気自着火開始時期推
定手段は、更に、圧縮行程中において噴射された（液体）燃料が燃料蒸気に変化する際の
50

潜熱、同燃料蒸気そのものが有する熱エネルギー、燃焼室内壁と筒内ガス（予混合気）の接触により筒内ガスから燃焼室壁へ伝達される損失エネルギー等を考慮して予混合気自着火開始時期を推定するように構成してもよい。

【0018】

係る予混合気自着火開始時期推定手段によれば、前記取得された圧縮開始時筒内ガス状態量と、前記推定された圧縮起因筒内ガス状態量変化量とにより、圧縮開始時点（即ち、吸気弁閉時点）以降において圧縮に起因して時々刻々と変化し得る筒内ガスの状態量が逐次求められ得る。そして、冷炎が発生した時点以降は、更に前記推定された冷炎発熱量相当値が考慮されて筒内ガスの状態量が逐次求められ得る。従って、係る冷炎発熱量が考慮されて逐次求められる筒内ガスの状態量（例えば、温度等）に基づいて予混合気自着火開始時期が推定されるから、予混合気の自着火開始時期が精度良く推定され得る。

10

【0019】

この場合、前記予混合気自着火開始時期推定手段は、少なくとも前記取得された圧縮開始時筒内ガス状態量と、前記推定された圧縮起因筒内ガス状態量変化量と、前記推定された冷炎発熱量相当値と、に基づいて前記予混合気の温度を推定する予混合気温度推定手段を備えるとともに、前記推定された予混合気の温度が所定の温度に達した時期を前記予混合気自着火開始時期として推定するように構成されることが好適である。

【0020】

一般に、予混合気の冷炎、及び自着火（熱炎）は、圧縮行程中において圧縮により上昇していく予混合気（筒内ガス）の温度が対応する所定の温度（冷炎開始に対応する温度、及び自着火開始に対応する温度）に達する毎に順に開始されることが種々の実験等を通して判明している。従って、上記のように、筒内ガスの状態量として逐次推定されていく予混合気の温度が所定の温度（自着火開始に対応する温度）に達した時期を予混合気自着火開始時期として推定するように構成すれば、簡易、且つ正確に予混合気自着火開始時期を推定することができる。

20

【0021】

上記何れかの本発明に係る混合気着火時期推定装置においては、前記PCCI燃焼用に前記燃焼室内に（直接）噴射される燃料が前記冷炎の開始時期において同燃焼室内壁面に付着する量を推定する付着量推定手段を更に備え、前記冷炎発熱量推定手段は、前記推定された付着量を考慮して前記冷炎発熱量相当値を推定するように構成されることが好適である。ここで、前記燃料付着量は、例えば、燃料噴射量、噴射時の筒内ガス密度、有効噴射圧力（噴射圧力と噴射時の筒内ガス圧力の差）等に強く影響を受ける。従って、前記付着量推定手段は、少なくともPCCI燃焼用の燃料噴射量、噴射時の筒内ガス密度、及び有効噴射圧力に基づいて前記冷炎開始時期における燃焼室内壁面への燃料付着量を推定するように構成することが好ましい。

30

【0022】

PCCI燃焼用に早期に噴射された燃料の一部が液体のまま燃焼室内壁面（例えば、シリンダの側壁面、ピストンの上面等）に付着する場合、冷炎開始時期まで燃焼室内壁面に付着している燃料分については、低温の燃焼室壁との接触により受ける熱損失によりその温度が低下することも相俟って、筒内ガス温度が比較的低温である上記冷炎開始に対応する温度に到達しても低温酸化反応（冷炎）が発生し得ない。換言すれば、噴射された燃料のうち冷炎開始時期において燃焼室内壁面に付着している燃料は、冷炎による発熱に寄与し得ない。

40

【0023】

従って、上記のように、冷炎開始時期において燃焼室内壁面に付着している燃料付着量を考慮して前記冷炎発熱量相当値を推定するように構成すれば、例えば、噴射された燃料の全量が冷炎による発熱に寄与すると仮定して推定された冷炎発熱量に、冷炎開始時期において燃焼室内壁面に付着していない燃料量の燃料噴射（全）量に対する割合（即ち、冷炎による発熱に実際に寄与する燃料の割合）を乗じることによって同冷炎発熱量を補正することができる。従って、冷炎発熱量がより一層正確に推定でき、この結果、予混合気自着火開

50

始時期がより一層正確に推定され得る。

【0024】

また、上記何れかの本発明に係る混合気着火時期推定装置においては、前記PCCI燃焼用に前記燃焼室内に噴射される燃料の噴射開始時期から前記冷炎の開始時期までの経過時間に基づいて、前記予混合気の前記冷炎の開始時期において同燃焼室の内壁面近傍まで分散する程度を表す値を推定する分散度推定手段を更に備え、前記冷炎発熱量推定手段は、前記推定された分散する程度を表す値を考慮して前記冷炎発熱量相当値を推定するように構成されることが好適である。

【0025】

燃焼室内の予混合気のうち冷炎開始時期において燃焼室の内壁面近傍（例えば、シリンダ側壁面近傍）にて分散している予混合気については、上述した燃焼室内壁面に付着している燃料と同様、低温の燃焼室壁より受ける熱損失によりその温度が低下することに起因して、筒内ガス温度（燃焼室内壁面近傍にて分散していない予混合気の温度）が上記冷炎開始に対応する温度に到達しても低温酸化反応（冷炎）が発生し得ない。換言すれば、燃焼室内の予混合気のうち冷炎開始時期において燃焼室内壁面近傍にて分散している予混合気は、冷炎による発熱に寄与し得ない。他方、予混合気は冷炎開始時期において燃焼室の内壁面近傍まで分散する程度は、燃料の噴射開始時期から冷炎の開始時期までの経過時間の増大に応じて大きくなる。

【0026】

以上のことから、上記のように、燃料の噴射開始時期から前記冷炎の開始時期までの経過時間に基づいて推定される、予混合気は冷炎開始時期において燃焼室の内壁面近傍まで分散する程度を表す値を考慮して前記冷炎発熱量相当値を推定するように構成すれば、例えば、燃焼室内の予混合気の全量（即ち、噴射された燃料の全量）が冷炎による発熱に寄与すると仮定して推定された冷炎発熱量を、予混合気は冷炎開始時期において燃焼室内壁面近傍にて分散する程度の増加に応じて小さくなるように補正することができる。従って、冷炎発熱量がより一層正確に推定でき、この結果、予混合気自着火開始時期がより一層正確に推定され得る。

【0027】

また、前記予混合気温度推定手段を備える本発明に係る混合気着火時期推定装置においては、前記冷炎の開始時期における前記予混合気の不均一度を表す値を推定する不均一度推定手段を更に備え、前記予混合気温度手段は、前記予混合気（燃料濃度の）の不均一度を表す値を考慮して前記予混合気の温度を推定するように構成されることが好ましい。ここにおいて、前記冷炎開始時期における燃焼室内の予混合気の不均一度は、例えば、燃料の噴射開始時期から冷炎開始時期までの経過時間、上記有効噴射圧力、スワール流速、燃料性状（例えば、燃料密度等）等に影響されるから、前記冷炎開始時期における燃焼室内の予混合気の不均一度を表す値は、これらの値に基づいて決定されることが好適である。

【0028】

略均一にリーンな状態で分散している燃焼室内の予混合気においても、実際にはその燃料濃度が或る程度不均一となっている。また、冷炎が発生した後の予混合気の温度（冷炎による火炎温度）は、その燃料濃度が高い領域ほど高くなる傾向がある。従って、冷炎開始時期における予混合気（燃料濃度の）の不均一度が大きいほど同冷炎開始時期における燃料濃度分布における最高値が高くなるから、冷炎発生後の予混合気の温度分布における最高温度が高くなる。

【0029】

他方、予混合気は自着火（熱炎）は、実際には、同予混合気の温度分布における最高温度が上記自着火開始に対応する温度に達した時点で開始されると考えられる。よって、予混合気は自着火開始時期は、冷炎開始時期における予混合気の不均一度に影響されるとともに、同不均一度が大きいほど早くなる傾向がある。

【0030】

以上のことから、上記のように、冷炎開始時期における予混合気の不均一度を表す値を考慮して同予混合気の温度を推定するように構成すれば、例えば、燃焼室内の予混合気が均一に分散していると仮定して推定された予混合気の温度を、冷炎開始時期における予混合気の不均一度の増加に応じて高くなるように補正することができる。換言すれば、冷炎開始後における予混合気の温度分布における最高温度を同予混合気の温度として推定できるようになる。この結果、予混合気の温度分布における最高温度に基づいて同予混合気の自着火開始時期が推定され得るから予混合気自着火開始時期がより一層正確に推定され得る。

【0031】

上記何れかの本発明に係る混合気着火時期推定装置においては、前記予混合気自着火開始時期推定手段は、前記筒内ガスが圧縮開始された後であって前記PCCI燃焼用の燃料の噴射開始時期より前の所定の時点にて前記予混合気自着火開始時期の推定を完了するように構成されることが好適である。ここにおいて、前記所定の時点は、筒内ガスの圧縮開始直後であることが好ましい。

【0032】

先に述べたように、PCCI燃焼においては、ノイズ大、或いは失火発生等の事態が発生することのないPCCI燃焼に適した予混合気の自着火開始時期の範囲（以下、「PCCI制御可能範囲」と称呼する。）が存在する。係るPCCI制御可能範囲は、機関の運転状態（例えば、機関の回転速度、燃料噴射量、予混合気の当量比等）により変化する。係る機関の運転状態と上記PCCI制御可能範囲との関係は、機関を種々の定常運転状態に順次変更していく実験等を通してデータ（具体的には、マップ、テーブル等）として予め取得することができる。

【0033】

他方、今回の作動サイクルにおける予混合気の自着火開始時期が上記PCCI制御可能範囲内にある場合には今回の作動サイクルにおいて運転状態に応じて決定される要求燃料噴射量（具体的には、燃料噴射量の定常適合値）の全量の燃料をPCCI燃焼用として圧縮上死点近傍よりも早期に噴射する燃料噴射形態を採用し、今回の作動サイクルにおける予混合気の自着火開始時期が上記PCCI制御可能範囲から外れている場合には今回の作動サイクルにおいて異なる燃料噴射形態を採用することが好ましいと考えられる。換言すれば、今回の作動サイクルにおける予混合気の自着火開始時期が上記PCCI制御可能範囲内にあるか否かによって今回の作動サイクルにおける燃料噴射形態を直ちに変更（制御）することが好ましい。このためには、上記要求燃料噴射量の全量の燃料をPCCI燃焼用として圧縮上死点近傍よりも早期に噴射したと仮定した場合での今回の作動サイクルにおける予混合気の自着火開始時期の推定を少なくとも上記PCCI燃焼用の燃料の噴射開始時期より前に完了しておく必要がある。

【0034】

以上のことから、上記のように、筒内ガスが圧縮開始された後であってPCCI燃焼用の燃料の噴射開始時期より前の所定の時点にて（上記要求燃料噴射量の全量の燃料をPCCI燃焼用として圧縮上死点近傍よりも早期に噴射したと仮定した場合での）予混合気自着火開始時期の推定を完了するように構成すれば、今回の予混合気自着火開始時期の推定結果に応じて今回の燃料噴射形態を直ちに変更（制御）することができる。

【0035】

上記のように今回の予混合気自着火開始時期の推定結果に応じて今回の燃料噴射形態を直ちに変更することが可能な本発明に係る内燃機関の制御装置は、具体的には、内燃機関の運転状態量と、上記PCCI制御可能範囲との（機関が定常運転状態にある場合における）関係を規定するためのデータ（マップ、テーブル等）を記憶するデータ記憶手段と、内燃機関の運転状態量を取得する運転状態量取得手段と、上記混合気着火時期推定装置により推定された今回の作動サイクルにおける前記予混合気自着火開始時期が、前記取得された内燃機関の運転状態量と前記データとに基づいて得られた前記PCCI制御可能範囲内にあるか否かを判定する判定手段と、前記判定手段による判定結果に基づいて、前記今

10

20

30

40

50

回の作動サイクルにおける燃料噴射形態を制御する燃料噴射形態制御手段とを備える。

【0036】

この場合、内燃機関が過渡運転状態にあるとき、燃焼室内に吸入される吸気中の酸素濃度、及び前記燃焼室内のガス量のうち少なくとも一つに応じて前記データを補正するデータ補正手段を更に備えることが好適である。PCCI制御可能範囲は、機関の運転状態を表す各パラメータ値（瞬時値）が同一であっても機関が過渡運転状態にある場合と定常運転状態にある場合とで異なることが判っている。また、係るPCCI制御可能範囲の相違の傾向は、少なくとも、燃焼室内に吸入される吸気中の酸素濃度、及び前記燃焼室内のガス量（質量）に応じて変化することも判っている。

【0037】

10

以上のことから、上記のように構成すれば、内燃機関が過渡運転状態にあるとき、上記データが、上記推定された今回の作動サイクルにおける予混合気自着火開始時期がPCCI制御可能範囲内にあるか否かをより一層精度良く判定するためのデータになるように補正され得る。従って、内燃機関が過渡運転状態にあるときにおいて、今回の作動サイクルにおける燃料噴射形態をより適切に制御することが可能となる。

【0038】

上記本発明に係る制御装置においては、前記燃料噴射形態制御手段は、前記推定された今回の作動サイクルにおける前記予混合気自着火開始時期が前記得られたPCCI制御可能範囲内にある場合、機関がPCCI燃焼に適した状態にあるため、先に述べたように、前記運転状態量に応じて決定される要求燃料噴射量（例えば、定常適合値）の全量の燃料をPCCI燃焼用として圧縮上死点近傍よりも早期に（今回の作動サイクルにおいて）燃焼室内に噴射することが好ましい。これにより、燃料噴射量の全量についてPCCI燃焼が発生し、NO_x、及びPMの発生量が拡散燃焼の場合に比して大幅に減少する。

20

【0039】

また、前記推定された今回の作動サイクルにおける前記予混合気自着火開始時期が前記得られたPCCI制御可能範囲から遅い方向に外れている場合、上述したように失火が発生し得るから、前記要求燃料噴射量（例えば、定常適合値）の全量の燃料を拡散燃焼用として前記圧縮上死点近傍にて（今回の作動サイクルにおいて）前記燃焼室内に噴射することが好ましい。拡散燃焼の場合、燃料噴霧の燃料濃度（即ち、当量比 ϕ ）が不均一になることで燃焼室中において自着火が発生し易い領域である当量比 ϕ が「1」より大きいリッチな領域が存在するからである。これにより、燃料噴射量の（略）全量について拡散燃焼が発生し、NO_x、及びPMの発生量を低減できない一方で、失火の発生を確実に防止することができる。

30

【0040】

他方、前記推定された今回の作動サイクルにおける前記予混合気自着火開始時期が前記得られたPCCI制御可能範囲から早い方向に外れている場合、上述したようにノイズが大きくなり得る。ここで、上記PCCI制御可能範囲は、PCCI燃焼用の燃料噴射量を少なくするほどより早い時期に移動する傾向がある（詳細は後述する。）。従って、この場合、PCCI燃焼用の燃料噴射量を上記要求燃料噴射量よりも少ない所定量に設定すれば、前記推定された今回の作動サイクルにおける前記予混合気自着火開始時期を前記PCCI制御可能範囲内とすることができる。

40

【0041】

即ち、この場合、前記要求燃料噴射量（例えば、定常適合値）のうちの所定量の燃料を前記PCCI燃焼用として前記圧縮上死点近傍よりも早期に（今回の作動サイクルにおいて）前記燃焼室内に噴射するとともに、同要求燃料噴射量のうち残りの量の燃料を前記拡散燃焼用として同圧縮上死点近傍にて（今回の作動サイクルにおいて）同燃焼室内に噴射することが好ましく、更には、上記所定量を、同推定された今回の作動サイクルにおける前記予混合気自着火開始時期を前記得られたPCCI制御可能範囲内とするために必要な同予混合圧縮着火燃焼用の燃料噴射量に設定すると更に好ましい。これにより、ノイズ大、或いは失火発生等の事態を発生させることなく、PCCI燃焼によるNO_x、及びPM

50

の発生量の低減効果を最大限に発揮せしめることが可能となる。

【0042】

上記何れかの本発明に係る制御装置においては、前記冷炎の開始時期における前記予混合気の不均一度を表す値を推定する不均一度推定手段を更に備え、前記判定手段は、前記予混合気の不均一度を表す値を考慮して前記判定を行うように構成されることが好適である。

【0043】

前述のごとく、略均一にリーンな状態で分散している燃焼室内の予混合気においても、実際にはその燃料濃度（従って、当量比 ϕ ）が或る程度不均一となっている。他方、先に述べたように、PCCI制御可能範囲は、機関の運転状態、特に、予混合気の当量比 ϕ に
10 応じて変化する。ここで、PCCI制御可能範囲を決定する当量比 ϕ の値は、実際には、燃焼室内において不均一に分散している予混合気における当量比 ϕ の最大値であると考えられ、係る当量比 ϕ の最大値は冷炎開始時期における予混合気の不均一度に依存する。

【0044】

以上のことから、前記予混合気の不均一度を表す値を考慮して前記推定された今回の作動サイクルにおける前記予混合気自着火開始時期が前記得られたPCCI制御可能範囲内にあるか否かの判定を行うように構成すれば、例えば、燃焼室内の予混合気が均一に分散していると仮定して推定された予混合気の当量比 ϕ の値と、冷炎開始時期における予混合
20 気の不均一度を表す値と、に基づいて予混合気の当量比 ϕ の最大値を求め、PCCI制御可能範囲を同予混合気の当量比 ϕ の最大値に基づいて決定できるようになる。この結果、PCCI制御可能範囲をより正確に決定することができるから、今回の作動サイクルにおける燃料噴射形態をより適切に制御することが可能となる。

【0045】

また、上述した燃料噴射形態制御手段の構成に代えて、同燃料噴射形態制御手段は、前記推定された今回の作動サイクルにおける前記予混合気自着火開始時期が前記得られたPCCI制御可能範囲内にある場合、前記運転状態量に応じて決定される要求燃料噴射量の全量の燃料を予混合圧縮着火燃焼用として、圧縮上死点近傍よりも早期の同運転状態量に
30 応じて決定される所定の噴射開始時期（例えば、定常適合時期）から（今回の作動サイクルにおいて）燃焼室内に噴射し、前記推定された今回の作動サイクルにおける前記予混合気自着火開始時期が前記得られたPCCI制御可能範囲から外れている場合、同今回の作動サイクルにおける実際の予混合気自着火開始時期を同得られたPCCI制御可能範囲内とするために前記所定の噴射開始時期を補正するとともに、前記運転状態量に応じて決定される要求燃料噴射量の全量の燃料を予混合圧縮着火燃焼用として、前記補正された噴射開始時期から（今回の作動サイクルにおいて）前記燃焼室内に噴射するように構成されてもよい。

【0046】

先に説明したように、燃料の噴射開始時期から冷炎開始時期までの経過時間が長くなると、予混合気が冷炎開始時期において燃焼室内の内壁面近傍まで分散する程度が高くなり、この結果、冷炎による発熱に寄与する予混合気の割合が少なくなつて冷炎発熱量が小さくなる傾向がある。また、冷炎発熱量が小さくなるほど、冷炎発生後の予混合気の温度が低
40 くなって予混合気の自着火開始時期が遅くなる。

【0047】

換言すれば、燃料の噴射開始時期から冷炎開始時期までの経過時間を調整すれば、予混合気の自着火開始時期を調整することができる。従って、前記推定された今回の作動サイクルにおける前記予混合気自着火開始時期がPCCI制御可能範囲から外れていると判定される場合であっても、今回の作動サイクルにおける燃料の噴射開始時期から冷炎開始時期までの経過時間を調整すれば、今回の作動サイクルにおける実際の予混合気自着火開始時期を同PCCI制御可能範囲内に制御することが可能となる（場合がある）。

【0048】

他方、一般に、燃料の噴射開始時期から冷炎開始時期までの経過時間は、同噴射開始時
50

期が早くなるほど長くなる傾向があるから、燃料の噴射開始時期を調整すれば、燃料の噴射開始時期から冷炎の開始時期までの経過時間を調整することができる。

【0049】

以上のことから、上記のように構成すれば、前記推定された今回の作動サイクルにおける前記予混合気自着火開始時期がPCCI制御可能範囲から外れていると判定される場合であっても、今回の作動サイクルにおけるPCCI燃焼用の燃料噴射時期を調整することで、前記運転状態量に応じて決定される要求燃料噴射量の全量の燃料をPCCI燃焼用として圧縮上死点近傍よりも早期に（今回の作動サイクルにおいて）燃焼室内に噴射することができる（場合がある）。これにより、ノイズ大、或いは失火発生等の事態を発生させることなく上記要求燃料噴射量の全量についてPCCI燃焼を達成できる機会が多くなり、この結果、NO_x、及びPMの発生量を少なくできる機会を増やすことができる。

【0050】

また、上述した燃料噴射形態制御手段の構成に代えて、同燃料噴射形態制御手段は、前記推定された今回の作動サイクルにおける前記予混合気自着火開始時期が前記得られたPCCI制御可能範囲内にある場合、前記運転状態量に応じて決定される要求燃料噴射量の全量の燃料を予混合圧縮着火燃焼用として、同運転状態量に応じて決定される所定の噴射圧力（例えば、定常適合圧力）をもって圧縮上死点近傍よりも早期に燃焼室内に噴射し、前記推定された今回の作動サイクルにおける前記予混合気自着火開始時期が前記得られたPCCI制御可能範囲から外れている場合、同今回の作動サイクルにおける実際の予混合気自着火開始時期を同得られたPCCI制御可能範囲内とするために前記所定の噴射圧力を補正するとともに、前記運転状態量に応じて決定される要求燃料噴射量の全量の燃料を予混合圧縮着火燃焼用として、前記補正された所定の噴射圧力をもって前記圧縮上死点近傍よりも早期に前記燃焼室内に噴射するように構成されてもよい。

【0051】

一般に、機関の負荷が比較的高い場合、燃料噴射圧力を高くするほど予混合気の自着火開始時期が早くなる傾向がある。これは、主として、燃料噴射圧力が高くなるほど液体燃料が霧化する速度（蒸発速度）が速くなることに基づく。また、機関の負荷が比較的低い場合、燃料噴射圧力を低くするほど予混合気の自着火開始時期が早くなる傾向がある。これは、主として、燃料噴射圧力が低くなるほど予混合気の過分散が抑制され（即ち、予混合気の不均一度が大きくなり）、この結果、上述したように自着火開始時期が早くなることに基づく。

【0052】

従って、前記推定された今回の作動サイクルにおける前記予混合気自着火開始時期がPCCI制御可能範囲から遅い方向に外れていると判定される場合（即ち、失火が発生すると判定される場合）であっても、今回の作動サイクルにおけるPCCI燃焼用の燃料の噴射圧力を機関の負荷状態に応じて調整すれば、今回の作動サイクルにおける実際の予混合気自着火開始時期をPCCI制御可能範囲内に制御することが可能となる（場合がある）。

【0053】

以上のことから、上記のように構成すれば、前記推定された今回の作動サイクルにおける前記予混合気自着火開始時期がPCCI制御可能範囲から外れている（具体的には、遅い方向に外れている）と判定される場合であっても、今回の作動サイクルにおけるPCCI燃焼用の燃料噴射圧力を機関の負荷状態に応じて調整することで、前記運転状態量に応じて決定される要求燃料噴射量の全量の燃料をPCCI燃焼用として圧縮上死点近傍よりも早期に（今回の作動サイクルにおいて）燃焼室内に噴射することができる（場合がある）。これによっても、ノイズ大、或いは失火発生等の事態を発生させることなく上記要求燃料噴射量の全量についてPCCI燃焼を達成できる機会が多くなり、この結果、NO_x、及びPMの発生量を少なくできる機会を増やすことができる。

【0054】

また、上記何れかの本発明に係る制御装置においては、上述した燃料噴射形態制御手段

そのものに代えて、前記推定された今回の作動サイクルにおける前記予混合気自着火開始時期が前記得られたPCCI制御可能範囲から外れている場合に、前記今回の作動サイクルにおける実際の予混合気自着火開始時期を同得られたPCCI制御可能範囲内とするために同今回の作動サイクルにおける前記予混合気の温度を（強制的に）所定量だけ増減せしめる予混合気温度調整手段を備えるように構成してもよい。

【0055】

一般に、圧縮行程中における或る時点における予混合気の温度が高いほど予混合気の自着火開始時期が早くなる。従って、前記推定された今回の作動サイクルにおける前記予混合気自着火開始時期がPCCI制御可能範囲から遅い方向に外れていると判定される場合（即ち、失火が発生すると判定される場合）、今回の作動サイクルにおける実際の予混合気自着火開始時期をPCCI制御可能範囲内に制御することが可能となる。

10

【0056】

一方、前記推定された今回の作動サイクルにおける前記予混合気自着火開始時期がPCCI制御可能範囲から早い方向に外れていると判定される場合（即ち、ノイズ大と判定される場合）、今回の作動サイクルにおける実際の予混合気自着火開始時期をPCCI制御可能範囲内に制御することが可能となる。

【0057】

以上のことから、上記のように予混合気温度調整手段を備えることにより、前記推定された今回の作動サイクルにおける前記予混合気自着火開始時期がPCCI制御可能範囲から外れていると判定される場合であっても、今回の作動サイクルにおける実際の予混合気自着火開始時期を強制的にPCCI制御可能範囲内に制御することが可能となる。これによっても、ノイズ大、或いは失火発生等の事態を発生させることなく上記要求燃料噴射量の全量についてPCCI燃焼を達成できる機会が多くなり、この結果、NO_x、及びPMの発生量を少なくできる機会を増やすことができる。

20

【0058】

なお、前記予混合気温度調整手段は、予混合気の温度を強制的に高める場合、例えば、新たに所定のガスを燃焼室内に注入することで筒内ガスの量を増大する、機関の圧縮比を増大する、グローで燃焼室を加熱する、等の処置を行う。一方、前記予混合気温度調整手段は、予混合気の温度を強制的に低くする場合、例えば、筒内ガスの一部を燃焼室外に放出することで筒内ガスの量を減少させる、機関の圧縮比を低くする、新たに所定の冷却材（例えば、水等）を燃焼室内に注入する、等の処置を行う。

30

【発明を実施するための最良の形態】

【0059】

以下、本発明による内燃機関の混合気着火時期推定装置を含む内燃機関（ディーゼル機関）の制御装置の実施形態の一つについて図面を参照しつつ説明する。

【0060】

図1は、本発明による内燃機関の制御装置を4気筒内燃機関（ディーゼル機関）10に適用したシステム全体の概略構成を示している。このシステムは、燃料供給システムを含むエンジン本体20、エンジン本体20の各気筒の燃焼室（筒内）にガスを導入するための吸気システム30、エンジン本体20からの排ガスを放出するための排気システム40、排気還流を行うためのEGR装置50、及び電気制御装置60を含んでいる。

40

【0061】

エンジン本体20の各気筒の上部には燃料噴射弁（噴射弁、インジェクタ）21が配設されている。各燃料噴射弁21は、図示しない燃料タンクと接続された燃料噴射用ポンプ22に燃料配管23を介して接続されている。燃料噴射用ポンプ22は、電気制御装置60と電氣的に接続されていて、同電気制御装置60からの駆動信号（後述する指令燃料噴射圧力P_{cr}に応じた指令信号）により燃料の実際の噴射圧力（吐出圧力）が同指令燃料噴射圧力P_{cr}になるように同燃料を昇圧するようになっている。

50

【0062】

これにより、燃料噴射弁21には、燃料噴射用ポンプ22から前記指令燃料噴射圧力 P_{cr} まで昇圧された燃料が供給されるようになっている。また、燃料噴射弁21は、電気制御装置60と電氣的に接続されていて、同電気制御装置60からの駆動信号（後述するPCCI燃焼用指令最終燃料噴射量 $q_{finpcci}$ （及び／又は拡散燃焼用指令最終燃料噴射量 $q_{findiff}$ ）に応じた指令信号）により所定時間だけ開弁し、これにより各気筒の燃焼室内に前記指令燃料噴射圧力 P_{cr} にまで昇圧された燃料をPCCI燃焼用指令最終燃料噴射量 $q_{finpcci}$ （及び／又は拡散燃焼用指令最終燃料噴射量 $q_{findiff}$ ）だけ直接噴射するようになっている。なお、本例において、「～燃料噴射量」は、噴射された燃料の体積を意味するものとする。

10

【0063】

吸気系統30は、エンジン本体20の各気筒の燃焼室にそれぞれ接続された吸気マニホールド31、吸気マニホールド31の上流側集合部に接続され同吸気マニホールド31とともに吸気通路を構成する吸気管32、吸気管32内に回動可能に保持されたスロットル弁33、電気制御装置60からの駆動信号にตอบสนองしてスロットル弁33を回転駆動するスロットル弁アクチュエータ33a、スロットル弁33の上流において吸気管32に順に介装されたインタクーラー34とターボチャージャ35のコンプレッサ35a、及び吸気管32の先端部に配設されたエアクリーナ36とを含んでいる。

【0064】

排気系統40は、エンジン本体20の各気筒にそれぞれ接続された排気マニホールド41、排気マニホールド41の下流側集合部に接続された排気管42、排気管42に配設されたターボチャージャ35のタービン35b、ターボチャージャ絞り弁35c及び排気管42に介装されたディーゼルパティキュレートフィルタ（以下、「DPNR」と称する。）43を含んでいる。排気マニホールド41及び排気管42は排気通路を構成している。

20

【0065】

ターボチャージャ絞り弁35cは、電気制御装置60と接続されていて、同電気制御装置60からの駆動信号にตอบสนองしてターボチャージャ35の容量を実質的に可変とするようにタービン35bに流入する排ガス通路面積を可変とする弁である。このターボチャージャ絞り弁35cが閉じられてタービン35bに流入する排ガス通路面積を小さくすると過給圧が増大し、逆にターボチャージャ絞り弁35cが開かれてタービン35bに流入する排ガス通路面積を大きくすると過給圧が低下する。

30

【0066】

DPNR43は、コージライト等の多孔質材料から形成されたフィルタ43aを備え、通過する排気ガス中のパティキュレートを細孔表面にて捕集するフィルタである。DPNR43は、担体としてのアルミナに、カリウムK、ナトリウムNa、リチウムLi、セシウムCsのようなアルカリ金属、バリウムBa、カルシウムCaのようなアルカリ土類金属、及びランタンLa、イットリウムYのような希土類金属から選ばれた少なくとも一つを白金とともに担持し、NO_xを吸収した後に同吸収したNO_xを放出して還元する吸蔵還元型NO_x触媒としても機能するようになっている。

40

【0067】

EGR装置50は、排気ガスを還流させる通路（EGR通路）を構成する排気還流管51と、排気還流管51に介装されたEGR制御弁52と、EGRクーラー53とを備えている。排気還流管51はタービン35bの上流側排気通路（排気マニホールド41）とスロットル弁33の下流側吸気通路（吸気マニホールド31）を連通している。EGR制御弁52は電気制御装置60からの駆動信号にตอบสนองし、再循環される排気ガス量（排気還流量、EGRガス流量）を変更し得るようになっている。

【0068】

電気制御装置60は、互いにバスで接続されたCPU61、CPU61が実行するプログラム、テーブル（ルックアップテーブル、マップ）、及び定数等を予め記憶したROM

50

62、CPU61が必要に応じてデータを一時的に格納するRAM63、電源が投入された状態でデータを格納するとともに同格納したデータを電源が遮断されている間も保持するバックアップRAM64、並びにADコンバータを含むインターフェース65等からなるマイクロコンピュータである。

【0069】

インターフェース65は、空気流量（新気流量）計測手段であって吸気管32に配置された熱線式エアフローメータ71、スロットル弁33の下流であって排気還流管51が接続された部位よりも下流の吸気通路に設けられた吸気温度センサ72、スロットル弁33の下流であって排気還流管51が接続された部位よりも下流の吸気通路に配設された吸気管圧力センサ73、クランクポジションセンサ74、アクセル開度センサ75、燃料噴射用ポンプ22の吐出口の近傍の燃料配管23に配設された燃料温度センサ76、スロットル弁33の下流であって排気還流管51が接続された部位よりも下流の吸気通路に設けられた吸気酸素濃度センサ77、水温センサ78、排気マニホールド41の下流側集合部に設けられた排気酸素濃度センサ81、排気マニホールド41の下流側集合部に設けられた排気温度センサ82、及び排気マニホールド41の下流側集合部に設けられた排気圧力センサ83と接続されていて、これらのセンサからの信号をCPU61に供給するようになっている。また、インターフェース65は、燃料噴射弁21、燃料噴射用ポンプ22、スロットル弁アクチュエータ33a、ターボチャージャ絞り弁35c、及びEGR制御弁52と接続されていて、CPU61の指示に応じてこれらに駆動信号を送出するようになっている。

【0070】

熱線式エアフローメータ71は、吸気通路内を通過する吸入空気の質量流量（単位時間当たりの吸入空気量、単位時間あたりの新気量）を計測し、同質量流量Ga（空気流量Ga）を表す信号を発生するようになっている。吸気温度センサ72は、エンジン10のシリンダ（即ち、燃焼室、筒内）に吸入されるガスの温度（即ち、吸気温度）を検出し、同吸気温度Tbを表す信号を発生するようになっている。吸気管圧力センサ73は、エンジン10のシリンダに吸入されるガスの圧力（即ち、吸気管圧力）を検出し、同吸気管圧力Pbを表す信号を発生するようになっている。

【0071】

クランクポジションセンサ74は、各気筒の絶対クランク角度を検出し、実クランク角度CAactを表すとともにエンジン10の回転速度であるエンジン回転速度NEをも表す信号を発生するようになっている。アクセル開度センサ75は、アクセルペダルAPの操作量（開度）を検出し、アクセル開度Accpを表す信号を発生するようになっている。燃料温度センサ76は、燃料配管23を通過する燃料の温度を検出し、燃料温度Tcrを表す信号を発生するようになっている。

【0072】

吸気酸素濃度センサ77は、吸気中の酸素濃度を検出し、吸気酸素濃度R02inを表す信号を発生するようになっている。水温センサ78は、機関10を冷却するための冷却水の温度を検出し、冷却水温THWを表す信号を発生するようになっている。排気酸素濃度センサ81は、排気中の酸素濃度を検出し、排気酸素濃度R02exを表す信号を発生するようになっている。排気温度センサ82は、排ガスの温度を検出し、排気温度Texを表す信号を発生するようになっている。排気圧力センサ83は、排ガスの圧力を検出し、排気圧力Pexを表す信号を発生するようになっている。

【0073】

（混合気着火時期の推定方法の概要）

次に、上記のように構成された内燃機関の混合気着火時期推定装置を含む制御装置（以下、「本装置」と云うこともある。）による混合気着火時期の推定方法について説明する。図2は、或る一つの気筒のシリンダ内（筒内）に吸気マニホールド31からガスが吸入され、燃焼室内に吸入されたガスが排気マニホールド41へ排出される様子を模式的に示した図である。

10

20

30

40

50

【0074】

図2に示したように、燃焼室内に吸入されるガス（従って、筒内ガス）には、吸気管32の先端部からスロットル弁33を介して吸入された新気と、排気還流管51からEGR制御弁52を介して吸入された（外部）EGRガスが含まれる。吸入される新気量（質量）と吸入されるEGRガス量（質量）の和に対するEGRガス量の割合（即ち、EGR率）は、運転状態に応じて電気制御装置60（CPU61）により適宜制御されるEGR制御弁52の開度に応じて変化する。後述するように、本装置は、原則的にPCCI燃焼用の燃料噴射形態を選択する一方、運転状態によっては拡散燃焼用の燃料噴射形態、或いは両方の燃料噴射形態を選択するようになっている。EGR率は、原則的に、PCCI燃焼用の燃料噴射形態が選択されている場合において拡散燃焼用の燃料噴射形態が選択されている場合に比して大きくなるように設定される。 10

【0075】

かかる新気、及びEGRガスは、吸気行程において開弁している吸気弁 V_{in} を介してピストンの下降に伴って燃焼室内に吸入されて筒内ガスとなる。筒内ガスは、ピストンが圧縮下死点に達した後の圧縮行程中の所定の時点で吸気弁 V_{in} が閉弁することにより筒内に密閉され、その時点以降、ピストンの上昇に伴って圧縮されていく。この結果、筒内ガスの温度（以下、「筒内温度 T_g 」と称呼する。）が増大していく。

【0076】

そして、PCCI燃焼用の燃料噴射形態が選択されている場合、圧縮行程中における圧縮上死点よりも早期の所定の時期が到来すると（具体的には、クランク角度 CA が後述するPCCI燃焼用燃料噴射開始時クランク角度 CA_{qpcci} に一致すると）、本装置は、前記PCCI燃焼用指令最終燃料噴射量 $q_{finpcci}$ に応じた所定時間だけ燃料噴射弁21を開弁することで燃料を筒内に直接噴射する。この場合、燃料噴射時点での筒内温度 T_g が低いことに加えて上述のごとくEGR率が大きい値となっているから、噴射された燃料（燃料噴霧。従って、予混合気）は直ちに自着火することなく燃焼室内で略均一になるまで十分に分散していく。このように燃焼室内に広く分散していく予混合気はピストンの上昇に伴って圧縮により高温・高圧となっていく、圧縮上死点近傍になると予混合気全体が略同時に自着火する（従って、PCCI燃焼が達成される）。 20

【0077】

一方、拡散燃焼用の燃料噴射形態が選択されている場合、圧縮行程中における圧縮上死点近傍の所定の時期が到来すると（具体的には、クランク角度 CA が後述する拡散燃焼用燃料噴射時クランク角度 CA_{qdiff} に一致すると）、本装置は、前記拡散燃焼用指令最終燃料噴射量 $q_{findiff}$ に応じた所定時間だけ燃料噴射弁21を開弁することで燃料を筒内に直接噴射する。この結果、噴射された（液体の）燃料は、圧縮により既に高温になっている筒内ガスから受ける熱により直ちに燃料蒸気になるとともに、時間の経過に伴って同筒内ガスと混ざり合いながら混合気となって順次自着火していく（従って、拡散燃焼が達成される）。 30

【0078】

<PCCI燃焼時における予混合気の自着火開始時期の具体的推定方法>

以下、本装置によるPCCI燃焼時における予混合気の自着火開始時期の具体的推定方法について図3を参照しながら説明する。図3は、圧縮行程（及び、膨張行程）における筒内温度 T_g 及び燃焼室内における熱発生率（ dQ/dCA 。単位時間あたりの熱発生量）の変化の一例を示した図である。 40

【0079】

図3において、 CA_{in} は圧縮開始時クランク角度（即ち、吸気弁 V_{in} 閉時クランク角度）、 CA_{qpcci} はPCCI燃焼用燃料噴射開始時クランク角度、 CA_{cool} は冷炎開始時クランク角度、 CA_{ig} は自着火（熱炎）開始時クランク角度である。また、説明の便宜上、クランク角度 CA が圧縮開始時クランク角度 CA_{in} ～PCCI燃焼用燃料噴射開始時クランク角度 CA_{qpcci} の間にある場合を第1モード（ $Mode=1$ ）、クランク角度 CA がPCCI燃焼用燃料噴射開始時クランク角度 CA_{qpcci} ～冷炎開始時クランク角度 CA_{cool} の間にある場合を第2モ 50

ード (Mode=2)、クランク角度CAが冷炎開始時クランク角度CAcool～自着火開始時クランク角度CAigの間にある場合を第3モード (Mode=3) と呼ぶ。

【0080】

また、PCCI 燃焼用燃料噴射開始時クランク角度CAqpciは、後述するように、要求燃料噴射量 (指令総燃料噴射量) qfinを計算する時期が到来した時点 (具体的には、圧縮下死点近傍。従って、圧縮開始時より前の時点) で、現時点での運転状態と所定のマップ (テーブル) とに基づいて定常適合値 (予め実験等により決定されている値であって機関が同運転状態で定常状態にある場合において機関の状態を最適な状態とするために適合された値) として決定される。

【0081】

10

本例では、予混合気の冷炎 (低温酸化反応) は、圧縮行程において圧縮により上昇していく予混合気温度 (従って、筒内温度Tg) が所定の冷炎開始に対応する一定の温度 (以下、「冷炎開始温度Tcool」と称呼する。) に達した時点で開始されると仮定する。同様に、本例では、予混合気の自着火 (熱炎) は、予混合気温度 (従って、筒内温度Tg) が所定の自着火開始に対応する一定の温度 (以下、「自着火開始温度Tig」と称呼する。) に達した時点で開始されると仮定する。

【0082】

そして、本装置は、今回の作動サイクルで燃料を噴射すべき気筒 (以下、「燃料噴射気筒」と称呼する。) の実クランク角度CAactが圧縮開始時クランク角度CAinに達した時点 (即ち、燃料噴射気筒の吸気弁Vinが開弁した時点) で直ちに、(原則的に) 要求燃料噴射量qfinの全量の燃料をPCCI 燃焼用燃料噴射時にてPCCI 燃焼用燃料噴射量qpcciとして噴射すると仮定した場合における圧縮開始時以降での今回の圧縮行程中の筒内温度Tg (従って、予混合気の温度) の推移を微小クランク角度ΔCA毎にクランク角度CAに対応させた形で予測・推定する。そして、本装置は、上記推定された筒内温度Tgが自着火開始温度Tigに達する時点を予混合気自着火開始時期 (即ち、自着火開始時クランク角度CAig) として推定する。従って、本装置は、圧縮開始時の直後の時点 (従って、PCCI 燃焼用燃料噴射開始時よりも前の時点) で既に予混合気自着火開始時期の推定を完了する。

20

【0083】

以下、要求燃料噴射量qfinの全量の燃料をPCCI 燃焼用燃料噴射時にてPCCI 燃焼用燃料噴射量qpcciとして噴射すると仮定した場合における今回の圧縮行程中の筒内温度Tgを微小クランク角度ΔCA毎にクランク角度CAに対応させた形で予測・推定する方法について説明する。

30

【0084】

一般に、筒内温度Tgにおける燃焼室内のガス (筒内ガス) の熱エネルギーQは下記(1)式に従って表すことができる。下記(1)式において、Mは筒内ガスの総質量 (筒内ガス質量)、Cpは筒内ガスの定圧比熱である。従って、筒内ガスの熱エネルギーQ、筒内ガス質量M、及び筒内ガスの定圧比熱Cpをそれぞれ微小クランク角度ΔCA毎に逐次求めていく (更新していく) ことで、下記(2)式に従って微小クランク角度ΔCA毎にクランク角度CAに対応させた形で筒内温度Tgを求めていくことができる。以下、先ず、筒内ガス質量Mの求め方について説明する。

40

【0085】

$$Q = M \cdot C_p \cdot T_g \quad \dots (1)$$

$$T_g = Q / (M \cdot C_p) \quad \dots (2)$$

【0086】

<筒内ガス質量M>

筒内ガス質量Mは、PCCI 燃焼用燃料の噴射前の段階 (即ち、第1モード) では、圧縮開始時点で燃焼室内に密閉された圧縮開始時筒内ガス質量M0に維持され、同燃料噴射後の段階 (即ち、第2、第3モード) では、同圧縮開始時筒内ガス質量M0にPCCI 燃焼用燃料噴射量qpcci (= qfin) の燃料の質量「qpcci・ρf」を加えた値 (M0 + qpcci・ρf) に維持される。ここで、ρfは燃料密度である。圧縮開始時筒内ガス質量M0は、圧縮開始時の

50

筒内ガスについての気体の状態方程式に基づく下記(3)式に従って求めることができる。

【0087】

$$M0 = P_{gin} \cdot V_{ain} / (R \cdot T_{in}) \quad \dots (3)$$

【0088】

上記(3)式において、Rは筒内ガスのガス定数である（ここでのガス定数Rは、一般ガス定数を筒内ガスの平均分子量で除した値である）。 P_{gin} は圧縮開始時における筒内ガス圧力 P_g である。圧縮開始時において筒内ガス圧力は吸気管圧力 P_b と略等しいと考えられるから、圧縮開始時筒内ガス圧力 P_{gin} は圧縮開始時において吸気管圧力センサ73により検出される吸気管圧力 P_b として取得することができる。

【0089】

V_{ain} は圧縮開始時筒内容積である。筒内容積は機関10の設計諸元に基づいてクランク角度CAの関数 $V_a(CA)$ として取得することができるから、圧縮開始時筒内容積 V_{ain} は圧縮開始時クランク角度 CA_{in} と関数 V_a とから $V_a(CA_{in})$ として取得することができる。 T_{in} は圧縮開始時における筒内温度である。圧縮開始時筒内温度 T_{in} は、下記(4)式に従って表すことができる。

【0090】

$$T_{in} = T_b + \Delta T_{in} \quad \dots (4)$$

【0091】

上記(4)式において、 T_b は圧縮開始時において吸気温度センサ72により検出される吸気温度である。この吸気温度 T_b は、スロットル弁33を介して吸入されてきた新気と、EGR制御弁52を介して吸入されてきた外部EGRガスの影響が反映された値である。 ΔT_{in} は吸気温度補正量であって、吸気が吸気温度センサ72を通過してから燃焼室内に流入するまでの間に同吸気が受ける熱による吸気温度の増加量である。この熱は、主として、前回の燃焼後に燃焼室内に残留している残留ガス（内部EGRガス）、並びに、吸気弁 V_{in} の表面及び吸気マニホールド31の内壁面等、から受ける熱であると考えられる。

【0092】

燃焼室内に残留している内部EGRガスから受ける熱量は、同内部EGRガスの量、及び温度に依存する。内部EGRガスの量は、前回の排気行程中における所定期期でのエンジン回転速度 NE_b 、同所定期期での排気圧力 P_{exb} 、同所定期期での排気温度 T_{exb} により決定され得、同内部EGRガスの温度は、前回の（要求）燃料噴射量 q_{finb} により決定され得る。また、上記吸気弁 V_{in} の表面等から受ける熱量は、圧縮開始時点での冷却水温 THW に依存する。従って、吸気温度補正量 ΔT_{in} は、 q_{finb} 、 NE_b 、 P_{exb} 、 T_{exb} 、 THW を引数とする関数 $func \Delta T_{in}$ により下記(5)式に従って求めることができる。

【0093】

$$\Delta T_{in} = func \Delta T_{in}(q_{finb}, NE_b, P_{exb}, T_{exb}, THW) \quad \dots (5)$$

【0094】

以上により、上記(3)式に従って圧縮開始時筒内ガス質量 $M0$ を求めることができ、従って、第1モードにおける筒内ガス質量 $M(=M0)$ 、及び第2、第3モードにおける筒内ガス質量 $M(=M0 + q_{pcci} \cdot \rho_f)$ を求めることができる。

【0095】

<筒内ガスの定圧比熱 C_p >

次に、筒内ガスの定圧比熱 C_p の求め方について説明する。一般に、筒内ガスの比熱比 $\kappa = C_p / C_v$

なる関係、及び、 $C_p = C_v + R$ なる関係から C_v を消去することで、筒内ガスの定圧比熱 C_p と、筒内ガスの比熱比 κ との関係は下記(6)式にて表すことができる。 C_v は筒内ガスの定容比熱である。

【0096】

$$\kappa = C_p / (C_p - R) \quad \dots (6)$$

【0097】

筒内ガスの比熱比 κ は、筒内ガスを構成する成分の組成割合に応じて変化する。筒内ガ

10

20

30

40

50

スを構成する成分は、P C C I 燃焼用燃料の噴射前の段階（即ち、第1モード）では主として、酸素 O_2 、二酸化炭素 CO_2 、窒素 N_2 、水 H_2O を含み、同燃料噴射後の段階（即ち、第2、第3モード）では、更に燃料を構成する成分を含む。ここで、これらの成分の組成割合は、吸気中の酸素濃度 $R02in$ 、前回の排気行程中における所定期間での排気酸素濃度 $R02exb$ 、及び現時点での筒内温度 Tg （燃料噴射後の段階では、更にP C C I 燃焼用燃料噴射量 $qpcci$ ）に大きく依存する。

【0098】

従って、P C C I 燃焼用燃料噴射後の段階である第2、第3モードにおける筒内ガスの比熱比 κ （従って、筒内ガスの定圧比熱 Cp ）は、 $R02in$ 、 $R02exb$ 、 Tg 、 $qpcci$ を引数とする関数 $funcCp$ を用いて下記(7)式に従って表すことができ、一方、P C C I 燃焼用燃料噴射前の段階である第1モードにおける筒内ガスの比熱比 κ （従って、筒内ガスの定圧比熱 Cp ）は、下記(7)式において $qpcci$ を「0」と置いた下記(8)式に従って求めることができる。

10

【0099】

$Cp = funcCp(R02in, R02exb, Tg, qpcci) \dots (7)$

$Cp = funcCp(R02in, R02exb, Tg, 0) \dots (8)$

【0100】

下記(7)式、(8)式から理解できるように、筒内ガスの定圧比熱 Cp は筒内温度 Tg に応じて変化する値である。以上のように、第1モードにおける筒内ガスの定圧比熱 Cp は上記(8)式に従って求めることができ、第2、第3モードにおける筒内ガスの定圧比熱 Cp は上記(7)式に従って求めることができる。

20

【0101】

〈筒内ガスの熱エネルギー Q 〉

次に、筒内ガスの熱エネルギー Q について説明する。まず、圧縮開始時点での筒内ガスの熱エネルギー Qin は、「 $Qin = M0 \cdot Cp \cdot Tin$ 」なる関係から求めることができる。ここにおける筒内ガスの定圧比熱 Cp は第1モードにおける比熱であるから、上記(8)式に従って求められる値である。

【0102】

また、筒内ガスの熱エネルギー Q は、第1モード～第3モードに渡って、ピストンが筒内ガスに対して行う仕事（ピストン仕事 $Wpiston$ ）と、燃焼室の内壁と筒内ガスとの接触により筒内ガスから燃焼室壁へ伝達されるエネルギー（損失エネルギー $Wloss$ ）の影響を受け続ける。

30

【0103】

いま、クランク角度 CA が微小クランク角度 ΔCA だけ進行する間における微小ピストン仕事 $\Delta Wpiston$ を考える。クランク角度 CA が微小クランク角度 ΔCA だけ進行する間に筒内容積が $\Delta V (> 0)$ だけ減少したとすると、微小ピストン仕事 $\Delta Wpiston$ は、現時点での筒内ガス圧力 Pg を用いて下記(9)式に従って表すことができる。現時点での筒内ガス圧力 Pg は、現時点での筒内ガス質量 M 、現時点での筒内温度 Tg 、現時点での筒内容積 $Va(CA)$ と、現時点での筒内ガスについての気体の状態方程式とに基づいて「 $Pg = M \cdot R \cdot Tg / Va(CA)$ 」なる関係から求めることができる。

40

【0104】

$\Delta Wpiston = Pg \cdot \Delta V \dots (9)$

【0105】

また、筒内容積 Va をクランク角度 CA で微分した値 (dVa/dCA) は機関10の設計諸元に基づいてクランク角度 CA の関数 $(dVa/dCA)(CA)$ として取得することができるから、 ΔV は下記(10)式に従って表すことができる。従って、上記(9)式、及び下記(10)式により、微小ピストン仕事 $\Delta Wpiston$ は下記(11)式に従って求めることができる。

【0106】

$\Delta V = (-dVa/dCA)(CA) \cdot \Delta CA \dots (10)$

【0107】

50

$$\Delta W_{\text{piston}} = P_g \cdot (-dV_a/dCA)(CA) \cdot \Delta CA \quad \dots (11)$$

【0108】

次に、クランク角度CAが微小クランク角度 ΔCA だけ進行する間における微小損失エネルギー ΔW_{loss} を考える。筒内ガスから燃焼室壁へ伝達される単位時間あたりの損失エネルギー (dW_{loss}/dt) は、筒内温度 T_g と冷却水温 THW の差 $(T_g - THW)$ に応じた値になると考えられるから、 $(T_g - THW)$ を引数とする関数 $\text{func}W_{\text{loss}}$ を用いて下記(12)式に従って表すことができる。

【0109】

$$dW_{\text{loss}}/dt = \text{func}W_{\text{loss}}(T_g - THW) \quad \dots (12)$$

【0110】

そうすると、クランク角度CAが微小クランク角度 ΔCA だけ進行する間の時間を Δt としたとき、微小損失エネルギー ΔW_{loss} は下記(13)式に従って表すことができる。また、 Δt は、現時点でのエンジン回転速度 NE と、微小クランク角度 ΔCA を用いて下記(14)式に従って表すことができる。従って、上記(12)式、下記(13)式、及び(14)式により、微小損失エネルギー ΔW_{loss} は下記(15)式に従って求めることができる。

【0111】

$$\Delta W_{\text{loss}} = dW_{\text{loss}}/dt \cdot \Delta t \quad \dots (13)$$

【0112】

$$\Delta t = (dt/dCA) \cdot \Delta CA = (1/NE) \cdot \Delta CA \quad \dots (14)$$

【0113】

$$\Delta W_{\text{loss}} = \text{func}W_{\text{loss}}(T_g - THW) \cdot (1/NE) \cdot \Delta CA \quad \dots (15)$$

【0114】

以上のことから、クランク角度CAが微小クランク角度 ΔCA だけ進行する間におけるピストン仕事と損失エネルギーの影響による筒内ガスの内部エネルギーの増加量 $\Delta Q1$ は下記(16)式にて求めることができる。

【0115】

$$\Delta Q1 = \Delta W_{\text{piston}} - \Delta W_{\text{loss}} \quad \dots (16)$$

【0116】

更に、筒内ガスの熱エネルギー Q は、PCCI燃焼用燃料の噴射により同(液体)燃料が燃料蒸気に変化する際の潜熱 ΔQ_{latent} 、及び同燃料蒸気そのものが有する熱エネルギー ΔQ_{qpcci} の影響を受ける。潜熱 ΔQ_{latent} は、PCCI燃焼用燃料噴射量 $qpcci$ に応じた値となると考えられるから、 $qpcci$ を引数とする関数 $\text{func} \Delta Q_{\text{latent}}$ を用いて下記(17)式に従って求めることができる。一方、燃料蒸気の熱エネルギー ΔQ_{qpcci} は下記(18)式に従って求めることができる。下記(18)式において、 C_f は燃料蒸気の比熱 C_f であり、 T_{cr} はPCCI燃焼用燃料噴射時点において燃料温度センサ76により検出される液体燃料の温度である。

【0117】

$$\Delta Q_{\text{latent}} = \text{func} \Delta Q_{\text{latent}}(qpcci) \quad \dots (17)$$

$$\Delta Q_{\text{qpcci}} = (qpcci \cdot \rho_f) \cdot C_f \cdot T_{cr} \quad \dots (18)$$

【0118】

加えて、筒内ガスの熱エネルギー Q は、予混合気の冷炎による発熱量(冷炎発熱量 $\Delta Q_{\text{lt o}}$)の影響を受ける。冷炎発熱量 $\Delta Q_{\text{lt o}}$ は、PCCI燃焼用燃料噴射量 $qpcci$ 、同燃料の性状(本例では、セタン価 CN)、吸気酸素濃度 R_{O2in} 、及び冷炎開始時期における筒内ガス密度 ρ_{cool} に強く影響を受けることが判っている。従って、実験等を通して、これらの各値を引数とする冷炎発熱量 $\Delta Q_{\text{lt o}}$ を求めるためのテーブル $\text{Map} \Delta Q_{\text{lt o}}$ を予め作製しておくことができる。また、冷炎開始時期における筒内ガス密度 ρ_{cool} は、冷炎開始時点での筒内ガス質量 $M (= M_0 + qpcci \cdot \rho_f)$ を冷炎開始時点での筒内容積 $V_a(CA_{\text{cool}})$ で除することで求めることができる。従って、冷炎発熱量 $\Delta Q_{\text{lt o}}$ は、係るテーブル $\text{Map} \Delta Q_{\text{lt o}}$ を用いて下記(19)式に従って求めることができる。係る冷炎発熱量 $\Delta Q_{\text{lt o}}$ は、実際には、図3における斜線領域に示すように、第3モード中において所定の時間に渡って発生するが、本例で

10

20

30

40

50

は、冷炎開始時 (CAcool) において瞬時に発生するものと仮定する。

【0119】

$\Delta Q_{lto} = \text{Map}(\text{CN}, q_{pcci}, R_{02in}, \rho_{cool}) \dots (19)$

【0120】

以上のように、筒内ガスの熱エネルギーQは、第1モード～第3モードに渡ってクランク角度CAが微小クランク角度 ΔCA だけ進行する毎に上記内部エネルギーの増加量 ΔQ_1 の分だけ増加するのみならず、PCCI燃烧用燃料噴射(開始)時点(CA q_{pcci})において上記燃料蒸気の熱エネルギー ΔQ_{pcci} の分だけ増加するとともに上記潜熱 ΔQ_{latent} の分だけ減少し、更には、冷炎開始時(CAcool)において上記冷炎発熱量 ΔQ_{lto} の分だけ増加する。これにより、筒内ガスの熱エネルギーQを微小クランク角度 ΔCA 毎に逐次求めていくことができる。

10

【0121】

以上のようにして、クランク角度CAを圧縮開始時クランク角度CAinから微小クランク角度 ΔCA だけ進行していく毎に筒内ガス質量M、筒内ガスの定圧比熱Cp、及び筒内ガスの熱エネルギーQをそれぞれ逐次求めていくことができるから、上記(2)式に従って微小クランク角度 ΔCA 毎にクランク角度CAに対応させた形で筒内温度Tgを求めていくことができる。

【0122】

以上、本装置は、上記手法により、微小クランク角度 ΔCA 毎にクランク角度CAに対応させた形で筒内温度Tgを逐次求めていく。そして、第2モードにおいて筒内温度Tgが冷炎開始温度Tcoolに達する時点を冷炎開始時期(即ち、冷炎開始時クランク角度CAcool)として推定するとともに、第3モードにおいて筒内温度Tgが自着火開始温度Tigに達する時点を予混合気自着火開始時期(即ち、自着火開始時クランク角度CAig)として推定する。係る推定は、前述のごとく、圧縮開始時(CAin)の直後の時点で完了する。以上が、要求燃料噴射量qfinの全量の燃料をPCCI燃烧用燃料噴射時にてPCCI燃烧用燃料噴射量 q_{pcci} として噴射すると仮定した場合における予混合気の自着火開始時期の具体的推定方法である。

20

【0123】

(PCCI制御の可否判定)

先に述べたように、PCCI燃烧での予混合気の自着火開始時期においては、ノイズ大、或いは失火発生等の事態が発生することのない前記PCCI制御可能範囲が存在する。係るPCCI制御可能範囲は、主として、エンジン回転速度NE、PCCI燃烧用燃料噴射量 q_{pcci} 、及び予混合気の当量比 ϕ により変化する。

30

【0124】

図4は、エンジン回転速度NEとPCCI燃烧用燃料噴射量 q_{pcci} が或る一つの組み合わせに係る関係にあつて、且つ機関10が定常運転状態にある場合における、予混合気の当量比 ϕ とPCCI制御可能範囲との関係を示した図である。PCCI制御可能範囲は図4において斜線で示したPCCI制御可能領域に対応している。図4に示したように、PCCI制御可能範囲(領域)は、当量比 ϕ の増加に従って遅角方向に移動する。これは、予混合気の当量比 ϕ が増加するほど、ノイズが大きくなるとともに失火が発生し難くなる、という傾向があることに基づく。

40

【0125】

図4に示したような、機関10が定常運転状態にある場合における予混合気の当量比 ϕ とPCCI制御可能範囲との関係は、エンジン回転速度NEとPCCI燃烧用燃料噴射量 q_{pcci} の組み合わせに応じて変化し得る。係る関係は、機関10を種々の定常運転状態に順次変更していく実験等を通して、エンジン回転速度NEとPCCI燃烧用燃料噴射量 q_{pcci} の組み合わせ毎にそれぞれマップとして予め取得することができる。本装置(ROM62)は、エンジン回転速度NEとPCCI燃烧用燃料噴射量 q_{pcci} の各組み合わせに対応する上記予め取得されたマップMapjudgeをそれぞれ記憶している。

【0126】

また、機関10が過渡運転状態にある場合においては、図5に示すように、PCCI制

50

御可能範囲は、定常運転状態時に比して吸気酸素濃度R02inが大きくなるほど遅角方向に移動するとともに、定常運転状態時に比して吸気酸素濃度R02inが小さくなるほど進角方向に移動する。これは、吸気酸素濃度R02inが大きくなるほど、ノイズが大きくなるとともに失火が発生し難くなる、という傾向があることに基づく。

【0127】

更には、機関10が過渡運転状態にある場合においては、図6に示すように、PCCI制御可能範囲は、定常運転状態時に比して筒内ガス質量Mが小さくなるほど遅角方向に移動するとともに、定常運転状態時に比して筒内ガス質量Mが大きくなるほど進角方向に移動する。これは、筒内ガス質量Mが大きくなるほど、筒内ガスの熱容量($M \cdot C_p$)が大きくなることに起因してノイズが小さくなるとともに失火が発生し易くなる、という傾向があることに基づく。 10

【0128】

以上のことから、本装置は、上述のごとく、圧縮開始時(CAin)の直後の時点で予混合気の自着火開始時クランク角度CAigを推定した直後に、現時点でのエンジン回転速度NEとPCCI燃烧用燃料噴射量qpcci(=qfin)との組み合わせから上記マップMapjudgeを選択する。機関10が過渡運転状態にある場合、現時点での吸気酸素濃度R02in、及び筒内ガス質量Mの組み合わせから上記選択したマップMapjudgeを適宜補正する。

【0129】

そして、本装置は、上記選択したマップMapjudgeと予混合気の当量比 ϕ と上記推定した自着火開始時クランク角度CAigとから、 ϕ とCAigとの関係がマップMapjudgeにおけるPCCI制御可能領域、失火領域、ノイズ大領域の何れに対応するかを判定する。係る判定も、圧縮開始時(CAin)の直後の時点(PCCI燃烧用燃料噴射開始時より前の時点)で完了する。ここで、予混合気の当量比 ϕ は、同予混合気が燃烧室内において均一に分布しているとの仮定のもと、吸入空気流量Ga(を一次遅れ処理した値)、及びPCCI燃烧用燃料噴射量qpcciを引数とする関数func ϕ を用いて下記(20)式に従って求めることができる。以上が、PCCI制御の可否判定の概要である。 20

【0130】

$$\phi = \text{func} \phi (Ga, qpcci) \cdots (20)$$

【0131】

(燃料噴射形態の選択、及び機関のフィードバック制御) 30

本装置は、上記当量比 ϕ と自着火開始時クランク角度CAigとの関係が、PCCI制御可能領域に対応する場合、今回の作動サイクルにおいて前記PCCI燃烧用燃料噴射開始時(CAqpcci)が到来した時点で前記要求燃料噴射量qfinの全量の燃料(=qpcci)をPCCI燃烧用指令最終燃料噴射量qfinpcciとして実際に噴射する。

【0132】

また、本装置は、上記当量比 ϕ と自着火開始時クランク角度CAigとの関係が、失火領域に対応する場合、今回の作動サイクルにおいて圧縮上死点近傍に設定される後述する前記拡散燃烧用燃料噴射開始時(CAqdiff)が到来した時点で前記要求燃料噴射量qfinの全量の燃料を拡散燃烧用指令最終燃料噴射量qfindiffとして実際に噴射する。これにより、先に述べたように、失火の発生を確実に防止することができる。 40

【0133】

そして、この場合、更に本装置は、EGR制御弁52の開度を所定量だけ閉じるとともにターボチャージャ絞り弁35cを所定量だけ開く。この結果、次回以降の作動サイクルにおいて吸気酸素濃度R02inが大きくなる方向に補正されるとともに筒内ガス質量Mが小さくなる方向に補正される。これにより、図5、及び図6から理解できるように、PCCI制御可能領域が遅角方向に移動し、次回以降の作動サイクルにおいて自着火開始時クランク角度CAigが失火領域からPCCI制御可能領域に移動する方向に機関10がフィードバック制御される。

【0134】

他方、本装置は、上記当量比 ϕ と自着火開始時クランク角度CAigとの関係が、ノイズ大 50

領域に対応する場合、前記要求燃料噴射量 $q_{fin}(=q_{pcci})$ をPCCI燃烧用指令最終燃料噴射量 $q_{finpcci}$ と拡散燃烧用指令最終燃料噴射量 $q_{findiff}$ とに分割する。このとき、本装置は、分割割合 $Ratio_{pcci} (=q_{finpcci}/q_{fin})$ を下記のように計算する。

【0135】

即ち、例えば、上記当量比 ϕ と自着火開始時クランク角度 CA_{ig} との関係が図7に示した上記選択したマップMapjudge上のノイズ大領域における黒い星印に対応する場合を考える。この場合、自着火開始時クランク角度 CA_{ig} を一定に維持したまま当量比 ϕ を小さくしていくと、上記当量比 ϕ と自着火開始時クランク角度 CA_{ig} との関係を図7におけるPCCI制御可能領域内（の ϕ 軸に沿う方向における略中央部。マップMapjudge上の白い星印を参照）に移動させることができる。

10

【0136】

ここで、当量比 ϕ と、PCCI燃烧用燃料噴射量 q_{pcci} とは、吸気中の新気量を一定とすると、比例関係にある。従って、当量比 ϕ を上記黒い星印に相当する値 ϕ_1 から上記白い星印に相当する値 ϕ_2 に変更することは、図7に示すように、PCCI燃烧用燃料噴射量 q_{pcci} を前記要求燃料噴射量 q_{fin} からPCCI燃烧用最適噴射量 $q_{pcciopt}$ に変更することに相当する。即ち、上記分割割合 $Ratio_{pcci}$ を「 ϕ_2/ϕ_1 」に設定し、PCCI燃烧用指令最終燃料噴射量 $q_{finpcci}$ と拡散燃烧用指令最終燃料噴射量 $q_{findiff}$ とをそれぞれ下記(21)式、及び(22)式に従って求めると、自着火開始時クランク角度 CA_{ig} をPCCI制御可能領域内とすることができる。

【0137】

$$q_{finpcci} = q_{fin} \cdot Ratio_{pcci} \quad \dots (21)$$

20

$$q_{findiff} = q_{fin} \cdot (1 - Ratio_{pcci}) \quad \dots (22)$$

【0138】

そこで、本装置は、この場合、上記手法により分割割合 $Ratio_{pcci}$ を求め、今回の作動サイクルにおいて前記PCCI燃烧用燃料噴射開始時（ CA_{qpcci} ）が到来した時点で上記(21)式にて求めたPCCI燃烧用指令最終燃料噴射量 $q_{finpcci}$ の燃料を実際に噴射する。次いで、本装置は、前記拡散燃烧用燃料噴射開始時（ CA_{qdiff} ）が到来した時点で上記(22)式にて求めた拡散燃烧用指令最終燃料噴射量 $q_{findiff}$ の燃料を実際に噴射する。これにより、ノイズ大、或いは失火発生等の事態を発生させることなく、PCCI燃烧による NO_x 、及びPMの発生量の低減効果を最大限に発揮せしめることが可能となる。

30

【0139】

そして、この場合、更に本装置は、EGR制御弁52の開度を所定量だけ開くとともにターボチャージャ絞り弁35cを所定量だけ閉める。この結果、次回以降の作動サイクルにおいて吸気酸素濃度 R_{O2in} が小さくなる方向に補正されるとともに筒内ガス質量 M が大きくなる方向に補正される。これにより、図5、及び図6から理解できるように、PCCI制御可能領域が進角方向に移動し、次回以降の作動サイクルにおいて自着火開始時クランク角度 CA_{ig} がノイズ大領域からPCCI制御可能領域に移動する方向に機関10がフィードバック制御される。以上が、燃料噴射形態の選択、及びフィードバック制御の概要である。

【0140】

40

（実際の作動）

次に、上記のように構成された内燃機関の混合気着火時期推定装置を含んだ制御装置の実際の作動について説明する。

<燃料噴射量等の計算>

CPU61は、図8にフローチャートにより示した燃料噴射量等の計算を行うためのルーチンを所定時間の経過毎に、且つ気筒毎に繰り返し実行するようになっている。従って、所定のタイミングになると、CPU61はステップ800から処理を開始し、ステップ805に進んで、今回の要求燃料噴射量 q_{fin} の計算時期（具体的には、圧縮下死点近傍）が到来したか否かを判定し、「No」と判定する場合、ステップ895に直ちに進んで本ルーチンを一旦終了する。

50

【0141】

いま、今回の要求燃料噴射量 q_{fin} の計算時期が到来したものとすると、CPU61はステップ805にて「Yes」と判定してステップ810に進み、アクセル開度 $Accp$ 、エンジン回転速度 NE 、及び図9に示したテーブル（マップ） $Mapq_{fin}$ から要求燃料噴射量 q_{fin} を求める。テーブル $Mapq_{fin}$ は、アクセル開度 $Accp$ 及びエンジン回転速度 NE と要求燃料噴射量 q_{fin} との関係を規定するテーブルであり、ROM62内に格納されている。

【0142】

次いで、CPU61はステップ815に進み、要求燃料噴射量 q_{fin} 、エンジン回転速度 NE 、及び図10に示したテーブル $MapCAq_{pcci}$ からPCCI燃烧用燃料噴射開始時クランク角度 CAq_{pcci} を決定する。テーブル $MapCAq_{pcci}$ は、要求燃料噴射量 q_{fin} 及びエンジン回転速度 NE とPCCI燃烧用燃料噴射開始時クランク角度 CAq_{pcci} との関係を規定するテーブルであり、ROM62内に格納されている。

10

【0143】

続いて、CPU61はステップ820に進み、要求燃料噴射量 q_{fin} 、エンジン回転速度 NE 、及び図11に示したテーブル $MapCAq_{diff}$ から拡散燃烧用燃料噴射開始時クランク角度 CAq_{diff} を決定する。テーブル $MapCAq_{diff}$ は、要求燃料噴射量 q_{fin} 及びエンジン回転速度 NE と拡散燃烧用燃料噴射開始時クランク角度 CAq_{diff} との関係を規定するテーブルであり、ROM62内に格納されている。

【0144】

次に、CPU61はステップ825に進んで、要求燃料噴射量 q_{fin} 、エンジン回転速度 NE 、及び図12に示したテーブル $MapP_{cr}$ から指令燃料噴射圧力 P_{cr} を決定する。テーブル $MapP_{cr}$ は、要求燃料噴射量 q_{fin} 及びエンジン回転速度 NE と指令燃料噴射圧力 P_{cr} との関係を規定するテーブルであり、ROM62内に格納されている。

20

【0145】

次いで、CPU61はステップ830に進み、エンジン回転速度 NE 、及び図13に示したテーブル $Mapq_{pccimax}$ から現時点でのPCCI制御可能最大噴射量 $q_{pccimax}$ を求める。テーブル $Mapq_{pccimax}$ は、（機関10が定常運転状態にある場合における）エンジン回転速度 NE とPCCI制御可能最大噴射量 $q_{pccimax}$ との関係を規定するテーブルであり、ROM62内に格納されている。

【0146】

続いて、CPU61はステップ835に進み、ステップ810にて求めた要求燃料噴射量 q_{fin} が上記PCCI制御可能最大噴射量 $q_{pccimax}$ 以下であるか否かを判定し、「Yes」と判定する場合、ステップ840に進んで要求燃料噴射量 q_{fin} の全量の燃料をPCCI燃烧用燃料噴射量 q_{pcci} として（仮）設定するとともに拡散燃烧用燃料噴射量 q_{diff} を「0」に（仮）設定した後、本ルーチンを一旦終了する。

30

【0147】

一方、CPU61はステップ835にて「No」と判定する場合、ステップ845に進んで、上記PCCI制御可能最大噴射量 $q_{pccimax}$ をPCCI燃烧用燃料噴射量 q_{pcci} として（仮）設定するとともに、要求燃料噴射量 q_{fin} からPCCI制御可能最大噴射量 $q_{pccimax}$ を減じた値を拡散燃烧用燃料噴射量 q_{diff} として（仮）設定した後、本ルーチンを一旦終了する。これにより、PCCI燃烧用燃料噴射量 q_{pcci} が上記PCCI制御可能最大噴射量 $q_{pccimax}$ よりも大きい値に設定されることが防止される。

40

【0148】

以降、CPU61は、次の作動サイクルにおいて要求燃料噴射量 q_{fin} の計算時期が到来するまでの間、ステップ800、805、895の処理を繰り返し実行する。このようにして、今回のPCCI燃烧用燃料噴射量 q_{pcci} 、及び今回の拡散燃烧用燃料噴射量 q_{diff} が圧縮下死点近傍にて（仮）決定される。

【0149】

<PCCI燃烧時における自着火開始時期の計算等>

また、CPU61は、図14～図18に一連のフローチャートにより示したPCCI燃

50

焼時における自着火開始時期の計算等を行うためのルーチンを所定時間の経過毎に、且つ気筒毎に繰り返し実行するようになっている。従って、所定のタイミングになると、CPU 61はステップ1400から処理を開始し、ステップ1405に進んで、今回の吸気弁Vinの閉弁時期（吸気弁Vinが開状態から閉状態に変化する時期。上記圧縮下死点近傍よりも後の時期。）が到来したか否かを判定し、「No」と判定する場合、ステップ1495に直ちに進んで本ルーチンを一旦終了する。

【0150】

いま、今回の吸気弁Vinの閉弁時期が到来したものとすると、CPU 61はステップ1405にて「Yes」と判定してステップ1410に進んでクランクポジションセンサ74により得られる現時点での実クランク角度CAactを圧縮開始時クランク角度CAinとして設定する。 10

【0151】

次に、CPU 61はステップ1415に進んで、上記(5)式に基づいて吸気温度補正量 ΔT_{in} を求める。ここにおいて、前回の要求燃料噴射量 q_{finb} としては、前回の本ルーチン実行中において図18のステップ1870にて格納された値が用いられ、NEb, Pexb, Texbとしては、前回の作動サイクルにおける排気行程中での所定時期で対応するセンサ74, 83, 82から得られた値がそれぞれ用いられ、THWとしては現時点で水温センサ78から得られた値が用いられる。

【0152】

次いで、CPU 61はステップ1420に進み、現時点（即ち、圧縮開始時点）で吸気温度センサ72により得られた吸気温度 T_b と、前記求めた吸気温度補正量 ΔT_{in} と、上記(4)式とに基づいて圧縮開始時筒内温度 T_{in} を求める。 20

【0153】

続いて、CPU 61はステップ1425に進んで、現時点（即ち、圧縮開始時点）で吸気管圧力センサ73により得られた吸気管圧力 P_b と、現時点での筒内容積 $V_a(CA_{in})$ と、上記求めた圧縮開始時筒内温度 T_{in} と、上記(3)式に相当するステップ1425内に記載の式とに基づいて筒内ガス質量 M （＝圧縮開始時筒内ガス質量 M_0 ）を求める。

【0154】

次に、CPU 61はステップ1430に進み、現時点（即ち、圧縮開始時点）で吸気酸素濃度センサ77により得られた吸気酸素濃度 R_{O2in} と、前回の作動サイクルにおける排気行程中での所定時期で排気酸素濃度センサ81より得られた排気酸素濃度 R_{O2exb} と、上記求めた圧縮開始時筒内温度 T_{in} と、上記(8)式に相当する式と、に従って筒内ガスの（圧縮開始時の）定圧比熱 C_p を求める。 30

【0155】

次いで、CPU 61はステップ1440に進んで、上記求めた筒内ガス質量 M と、上記求めた定圧比熱 C_p と、上記求めた圧縮開始時筒内温度 T_{in} と、上記(1)式に相当する式と、に基づいて圧縮開始時の筒内ガスの熱エネルギー Q_{in} を求める。

【0156】

そして、CPU 61はステップ1445に進み、ステップ1425にて使用した吸気管圧力 P_b の値を筒内ガス圧力 P_g として設定し、続くステップ1450にて上記求めた圧縮開始時筒内温度 T_{in} の値を筒内温度 T_g として設定し、続くステップ1455にて上記圧縮開始時クランク角度 CA_{in} の値をクランク角度 CA として設定し、続くステップ1460にて上記圧縮開始時の筒内ガスの熱エネルギー Q_{in} の値を筒内ガスの熱エネルギー Q として設定する。これにより、 P_g , T_g , CA , Q にそれぞれ圧縮開始時の値（初期値）が設定される。 40

【0157】

次に、CPU 61は図15のステップ1505に進み、これ以降、第1モードにおける計算が開始される。まず、CPU 61はステップ1505にて上記(11)式に従って微小ピストン仕事 ΔW_{piston} を求める。 P_g , CA としては最新値（この段階では、ステップ1445にて設定された値、及びステップ1455にて設定された値）がそれぞれ使用される。

【0158】

次いで、CPU 61はステップ1510に進んで、上記(15)式に従って微小損失エネルギー ΔW_{loss} を求める。 T_g としては最新値（この段階では、ステップ1450にて設定された値）が使用される。また、NEとしては圧縮開始時の値が使用され、THWとしてはステップ1415にて使用した値（即ち、圧縮開始時の値）が使用される。

【0159】

続いて、CPU 61はステップ1515に進んで、筒内ガスの熱エネルギー Q の最新値（この段階では、 Q_{in} ）にステップ1505にて求めた微小ピストン仕事 ΔW_{piston} を加えた値からステップ1510にて求めた微小損失エネルギー ΔW_{loss} を減じた値を新たな筒内ガスの熱エネルギー Q （の最新値）として設定する。

【0160】

次に、CPU 61はステップ1520に進み、先のステップ1430と同様、上記(8)式に従って、この段階での筒内ガスの定圧比熱 C_p を求める。 $R02_{in}$ 、 $R02_{exb}$ としてはステップ1430にて使用された値がそれぞれ使用され、 T_g としては最新値（この段階では、ステップ1450にて設定された値）が使用される。

【0161】

次いで、CPU 61はステップ1530に進み、ステップ1515にて求めた筒内ガスの熱エネルギーの最新値 Q と、先のステップ1425にて求めた筒内ガス質量 M と、ステップ1525にて求めた定圧比熱 C_p と、上記(2)式とに従って筒内温度 T_g の最新値を求める。

【0162】

続いて、CPU 61はステップ1535に進んで、クランク角度 CA の最新値（この段階では、 CA_{in} ）に微小クランク角度 ΔCA を加えた値を新たなクランク角度 CA （の最新値）として設定し、続くステップ1540にて、先のステップ1425にて求めた筒内ガス質量 M と、ステップ1530にて求めた筒内温度 T_g の最新値と、クランク角度 CA の最新値と、筒内ガスについての気体の状態方程式とに基づいて筒内ガス圧力 P_g の最新値を求める。

【0163】

そして、CPU 61はステップ1545に進み、ステップ1535にて求めたクランク角度 CA の最新値が先の図8のステップ815にて設定されたPCCI燃焼用燃料噴射開始時クランク角度 CA_{qpcci} に一致したか否かを判定する。この段階ではクランク角度 CA の最新値は $(CA_{in} + \Delta CA)$ であって CA_{qpcci} に達していないから、CPU 61はステップ1545にて「No」と判定して先のステップ1505に戻り、以降、ステップ1505～1545までの処理を再び実行する。このとき、ステップ1505における P_g 、 CA の最新値としてはステップ1540、ステップ1535にて更新されている値がそれぞれ使用され、ステップ1510、及びステップ1520における T_g としてはステップ1530にて更新されている値が使用される。

【0164】

即ち、ステップ1505～1545までの処理は、ステップ1535の繰り返し実行によりクランク角度 CA の最新値がPCCI燃焼用燃料噴射開始時クランク角度 CA_{qpcci} に達するまでの間、繰り返し実行される。この結果、ステップ1530の繰り返し実行により、今回の圧縮行程での第1モードにおける筒内温度 T_g が微小クランク角度 ΔCA 毎にクランク角度 CA に対応した形で予測されていく。

【0165】

そして、ステップ1535の繰り返し実行によりクランク角度 CA の最新値がPCCI燃焼用燃料噴射開始時クランク角度 CA_{qpcci} に達すると、CPU 61はステップ1545にて「Yes」と判定するようになり、図16のステップ1605に進む。これにより、第1モードにおける計算が終了し、第2モードにおける計算が開始される。

【0166】

CPU 61はステップ1605に進むと、上記(17)式に従ってPCCI燃焼用燃料の噴射による潜熱 ΔQ_{latent} を求める。PCCI燃焼用燃料噴射量 q_{pcci} としては先の図8のステップ840、或いはステップ845にて設定された値が使用される。次に、CPU 61

10

20

30

40

50

はステップ1610に進んで、上記(18)式に従って燃料蒸気の熱エネルギー ΔQ_{qpcci} を求める。 $qpcci$ としてはステップ1605にて使用された値が使用され、 T_{cr} としては便宜上、圧縮開始時において燃料温度センサ76により検出された値が使用される。そして、CPU61はステップ1615に進んで、筒内ガスの熱エネルギー Q の最新値（この段階では、先のステップ1515にて更新されている値（第1モードにおける最終値））に上記燃料蒸気の熱エネルギー ΔQ_{qpcci} を加えた値から上記潜熱 ΔQ_{latent} を減じた値を新たな筒内ガスの熱エネルギー Q （の最新値）として設定する。

【0167】

その後、CPU61はステップ1620～ステップ1655までの処理を順に実行していく。係るステップ1620～ステップ1655までの処理は、先の図15のステップ1505～ステップ1540までの処理に対応しているからこれらの詳細な説明は省略する。この段階では、ステップ1620における P_g 、 CA の最新値としてはステップ1540、ステップ1535にて更新されている値がそれぞれ使用され、ステップ1625、及びステップ1635における T_g としてはステップ1530にて更新されている値が使用される。また、ステップ1520に対応するステップ1635では、上記(8)式の代わりに上記(7)式が使用され、ステップ1530、及びステップ1540にそれぞれ対応するステップ1645、及びステップ1655では、筒内ガス質量 $M(=M_0)$ の代わりに $(M+qpcci \cdot \rho f)$ が使用される。

【0168】

そして、CPU61はステップ1660に進み、ステップ1645にて求めた筒内温度 T_g の最新値が前記冷炎開始温度 T_{cool} 以上であるか否かを判定する。この段階では筒内温度 T_g の最新値は冷炎開始温度 T_{cool} 未満であるから、CPU61はステップ1660にて「No」と判定して先のステップ1620に戻り、以降、ステップ1620～1655までの処理を再び実行する。このとき、ステップ1620における P_g 、 CA の最新値としてはステップ1655、ステップ1650にて更新されている値がそれぞれ使用され、ステップ1625、及びステップ1635における T_g としてはステップ1645にて更新されている値が使用される。

【0169】

即ち、ステップ1620～1655までの処理は、ステップ1645の繰り返し実行により筒内温度 T_g の最新値が冷炎開始温度 T_{cool} 以上になるまでの間、繰り返し実行される。この結果、ステップ1645の繰り返し実行により、今回の圧縮行程での第2モードにおける筒内温度 T_g が微小クランク角度 ΔCA 毎にクランク角度 CA に対応した形で予測されていく。

【0170】

そして、ステップ1645にて繰り返し更新されてきた筒内温度 T_g の最新値が冷炎開始温度 T_{cool} 以上になると、CPU61はステップ1660にて「Yes」と判定するようになり、この段階でのクランク角度 CA を冷炎開始時クランク角度 CA_{cool} として格納した後、図17のステップ1705に進む。これにより、第2モードにおける計算が終了し、第3モードにおける計算が開始される。

【0171】

CPU61はステップ1705に進むと、冷炎開始時点での筒内ガス質量 $(M+qpcci \cdot \rho f)$ を冷炎開始時点での筒内容積 $V_a(CA_{cool})$ で除した値を冷炎開始時筒内ガス密度 ρ_{cool} として設定し、続くステップ1710にて上記(19)式に従って冷炎発熱量 ΔQ_{lto} を求める。 $qpcci$ としては、先のステップ1605にて使用された値が使用され、 R_{02in} としては、先のステップ1520にて使用された値が使用される。

【0172】

そして、CPU61はステップ1715に進んで、筒内ガスの熱エネルギー Q の最新値（この段階では、先のステップ1630にて更新されている値（第2モードにおける最終値））に上記冷炎発熱量 ΔQ_{lto} を加えた値を新たな筒内ガスの熱エネルギー Q （の最新値）として設定する。

【0173】

その後、CPU61はステップ1720～ステップ1755までの処理を順に実行していく。係るステップ1720～ステップ1755までの処理は、先の図16のステップ1620～ステップ1655までの処理に対応しているからこれらの詳細な説明は省略する。この段階では、ステップ1720におけるPg、CAの最新値としてはステップ1655、ステップ1650にて更新されている値がそれぞれ使用され、ステップ1725、及びステップ1735におけるTgとしてはステップ1645にて更新されている値が使用される。

【0174】

そして、CPU61はステップ1760に進み、ステップ1745にて求めた筒内温度Tgの最新値が前記自着火開始温度Tig以上であるか否かを判定する。この段階では筒内温度Tgの最新値は自着火開始温度Tig未満であるから、CPU61はステップ1760にて「No」と判定して先のステップ1720に戻り、以降、ステップ1720～1755までの処理を再び実行する。このとき、ステップ1720におけるPg、CAの最新値としてはステップ1755、ステップ1750にて更新されている値がそれぞれ使用され、ステップ1725、及びステップ1735におけるTgとしてはステップ1745にて更新されている値が使用される。

【0175】

即ち、ステップ1720～1755までの処理は、ステップ1745の繰り返し実行により筒内温度Tgの最新値が自着火開始温度Tig以上になるまでの間、繰り返し実行される。この結果、ステップ1745の繰り返し実行により、今回の圧縮行程での第3モードにおける筒内温度Tgが微小クランク角度 ΔCA 毎にクランク角度CAに対応した形で予測されていく。

【0176】

そして、ステップ1745にて繰り返し更新されてきた筒内温度Tgの最新値が自着火開始温度Tig以上になると、CPU61はステップ1760にて「Yes」と判定するようになり、この段階でのクランク角度CAを自着火開始時クランク角度CAigとして格納した後、図18のステップ1805に進む。これにより、第4モードにおける計算、及び自着火開始時期の計算が終了し、PCCI制御可否判定が実行される。

【0177】

CPU61はステップ1805に進むと、エアフローメータ71により検出される吸入空気流量Gaを所定の一次遅れ処理した値と、先のステップ840、若しくはステップ845にて決定したPCCI燃焼用燃料噴射量qpcciと、上記(20)式とに基づいて筒内ガスの当量比 ϕ を求める。

【0178】

次に、CPU61はステップ1810に進み、上記現時点でのエンジン回転速度NEと、上記PCCI燃焼用燃料噴射量qpcciの組み合わせからマップMapjudgeを選択し、続くステップ1815にて機関10が過渡運転状態にあるか否かを判定する。係る判定は、具体的には、現時点から所定時間前の時点から現時点までの間におけるアクセル開度Accp、及びエンジン回転速度NEの最大値と最小値の差（ピーク・トゥ・ピーク）がそれぞれ所定値以下であるか否かにより行われる。

【0179】

そして、上記ピーク・トゥ・ピークの少なくとも1つが上記所定値を超えている場合、CPU61はステップ1815にて「Yes」と判定して（即ち、機関10が過渡運転状態にあると判定して）ステップ1820に進み、現時点（即ち、圧縮開始時）での吸気酸素濃度R02inと筒内ガス質量Mの組み合わせから上記選択したマップMapjudgeを補正した後ステップ1825に進む。一方、上記ピーク・トゥ・ピークが共に上記所定値以下である場合、CPU61はステップ1815にて「No」と判定して（即ち、機関10が定常運転状態にあると判定して）ステップ1825に直ちに進む。従って、上記選択したマップMapjudgeの補正が実行されない。

10

20

30

40

50

【0180】

CPU61はステップ1825に進むと、ステップ1805にて求めた当量比 ϕ と、先のステップ1765にて格納されている自着火開始時クランク角度CAigと、上記選択されたマップMapjudgeとに基づいて変数XHANの値を選択する。変数XHANの値は、図7に示すように、上記当量比 ϕ と自着火開始時クランク角度CAigとの関係が、ノイズ大領域に対応する場合に「1」に設定され、失火領域に対応する場合に「2」に設定され、PCCI制御可能領域に対応する場合に「3」に設定される。

【0181】

続いて、CPU61はステップ1830にて変数XHANの値が「1」になっているか否かを判定し、「Yes」と判定する場合（即ち、ノイズ大と判定する場合）、ステップ1835に進み、 ϕ とCAigとMapjudgeとから図7の「 $\phi 2 / \phi 1$ 」に相当する分割割合Ratioqpcciを計算し、続くステップ1840にて、先のステップ810にて決定されている要求燃料噴射量qfinと、上記分割割合Ratioqpcciと、上記(21)式、及び上記(22)式に従って、PCCI燃烧用指令最終燃料噴射量qfinpcciと拡散燃烧用指令最終燃料噴射量qfindiffとをそれぞれ求めるとともに、続くステップ1845にてEGR制御弁52を現時点での状態から所定量だけ開くとともに、ターボチャージャ絞り弁35cを現時点での状態から所定量だけ閉じた後、ステップ1870に進む。

【0182】

一方、ステップ1830にて「No」と判定する場合、CPU61はステップ1850に進み、ステップ1850にて変数XHANの値が「2」になっているか否かを判定する。そして、CPU61はステップ1850にて「Yes」と判定する場合（即ち、失火と判定する場合）、ステップ1855に進み、PCCI燃烧用指令最終燃料噴射量qfinpcciを「0」に設定するとともに、拡散燃烧用指令最終燃料噴射量qfindiffを先のステップ810にて決定されている要求燃料噴射量qfinの値にそれぞれ設定するとともに、続くステップ1860にてEGR制御弁52を現時点での状態から所定量だけ閉じるとともに、ターボチャージャ絞り弁35cを現時点での状態から所定量だけ開いた後、ステップ1870に進む。

【0183】

他方、ステップ1850にて「No」と判定する場合（即ち、PCCI制御可能と判定する場合）、CPU61はステップ1865に進み、先のステップ840、或いはステップ845にてそれぞれ決定されているPCCI燃烧用燃料噴射量qpcciの値、及び拡散燃烧用燃料噴射量qdiffの値をそれぞれそのまま、PCCI燃烧用指令最終燃料噴射量qfinpcci、及び拡散燃烧用指令最終燃料噴射量qfindiffとして設定した後、EGR制御弁52、及びターボチャージャ絞り弁35cを現時点での状態に維持したままステップ1870に進む。

【0184】

そして、ステップ1870に進むと、先のステップ810にて決定されている今回の要求燃料噴射量qfinの値を前回の要求燃料噴射量qfinbとして格納した後、ステップ1495に進んで図14～図18に示した一連の本ルーチンを一旦終了する。ここで格納された値は、次の本ルーチン実行時におけるステップ1415の処理において使用される。以降、CPU61は、次の吸気弁Vin閉弁時までの間、図14のステップ1405に進んだとき「No」と判定してステップ1495に直ちに進んで本ルーチンを一旦終了するようになる。このようにして、PCCI燃烧時における自着火開始時期(CAig)の計算、PCCI制御の可否判定、及び燃料噴射形態の選択が、圧縮開始時(CAin)の直後（遅くとも、PCCI燃烧用燃料噴射開始時(CAqpcci)よりも前にて）完了する。

【0185】

(燃料噴射制御)

更に、CPU61は、図19にフローチャートにより示した燃料噴射制御を行うためのルーチンを所定時間の経過毎に、且つ気筒毎に繰り返し実行するようになっている。従って、所定のタイミングになると、CPU61はステップ1900から処理を開始し、ステ

ステップ1905に進んで、クランクポジションセンサ74により検出される実クランク角度CAactが先のステップ815にて決定されているPCCI燃焼用燃料噴射時クランク角度CAqpciに一致したか否かを判定する。

【0186】

いま、先のステップ1830～1865までの処理が実行された直後であるものとする、実クランク角度CAactがCAqpciに達していないから、CPU61はステップ1905にて「No」と判定してステップ1910に進んで実クランク角度CAactが先のステップ820にて決定されている拡散燃焼用燃料噴射時クランク角度CAqdiffに一致したか否かを判定するとともに、同ステップ1910でも「No」としてステップ1995に直ちに進んで本ルーチンを一旦終了する。

10

【0187】

以降、CPU61は実クランク角度CAactがCAqpciに達するまでの間、ステップ1900、1905、1910の処理を繰り返し実行する。そして、実クランク角度CAactがCAqpciに達すると、CPU61はステップ1905にて「Yes」と判定してステップ1915に進み、先のステップ1840、1855、及び1865の何れかにおいて設定されているPCCI燃焼用指令最終燃料噴射量qfinpciだけ燃料を噴射する指示を対応する燃料噴射弁21に対して行う。

【0188】

以降、CPU61は実クランク角度CAactがCAqdiffに達するまでの間、ステップ1900、1905、1910の処理を繰り返し実行する。そして、実クランク角度CAactがCAqdiffに達すると、CPU61はステップ1910にて「Yes」と判定してステップ1920に進み、先のステップ1840、1855、及び1865の何れかにおいて設定されている拡散燃焼用指令最終燃料噴射量qfindiffだけ燃料を噴射する指示を対応する燃料噴射弁21に対して行う。

20

【0189】

なお、ステップ1915、或いはステップ1920において、噴射すべき量が「0」に設定されている場合、燃料噴射指示は実行されない。以上により、上記選択された燃料噴射形態に対応する燃料噴射制御が今回の作動サイクルにて直ちに実行される。

【0190】

以上、説明したように、本発明による内燃機関の混合気着火時期推定装置を含んだ制御装置の実施形態によれば、圧縮開始時(CAin)における筒内ガスの状態量(圧縮開始時筒内ガスの熱エネルギーQin)と、圧縮行程における圧縮による筒内ガスの状態量の変化量(微小ピストン仕事 ΔW_{piston})と、PCCI燃焼時において自着火(熱炎)に先立って発生する冷炎による発熱量(冷炎発熱量 ΔQ_{lto})と、が少なくとも考慮されて、PCCI燃焼用の予混合気の温度(筒内温度Tg)をクランク角度CAに対応する形で推定していき、筒内温度Tgが所定の自着火開始温度Tigに達した時点をPCCI燃焼に係わる自着火開始時期(CAig)として推定する。従って、冷炎発熱量 ΔQ_{lto} が考慮されるから、PCCI燃焼に係わる自着火開始時期を精度良く推定することができる。

30

【0191】

また、今回の作動サイクルにおける自着火開始時期(CAig)の推定が圧縮開始時(CAin)直後に完了するから、係る推定結果に基づいて今回の作動サイクルにおける最も適切な燃料噴射形態(PCCI燃焼用指令最終燃料噴射量qfinpciと拡散燃焼用指令最終燃料噴射量qfindiffの割合)が直ちに決定・実行され得る。従って、ノイズ大、或いは失火の発生等の事態を発生させることなく、PCCI燃焼によるNOx、及びPMの発生量の低減効果を最大限に発揮せしめることができる。

40

【0192】

(第1変形例)

次に、上記実施形態の第1変形例に係る内燃機関の混合気着火時期推定装置を含んだ制御装置について説明する。この第1変形例は、冷炎開始時期(CAcool)における予混合気の燃料濃度の不均一度を更に考慮して、筒内温度Tg(従って、自着火開始時クランク角度

50

CAig) の推定を行うとともに、同不均一度を更に考慮して、上記推定した自着火開始時クランク角度CAigがPCCI制御可能範囲内にあるか否かの判定(従って、燃料噴射形態の選択)を実行するものである。

【0193】

先に説明したように、実際には不均一に分散している予混合気について冷炎が発生した後の温度(冷炎による火炎温度)はその燃料濃度が高い領域ほど高くなるから、冷炎開始時期(CAcool)における予混合気の(燃料濃度の)不均一度が大きいほど冷炎発生後の(即ち、第3モードにおける)予混合気の温度分布における最高温度が高くなる。

【0194】

他方、予混合気の自着火は、実際には、同予混合気の温度分布における最高温度が上記自着火開始温度Tigに達した時点で開始されると考えられる。よって、予混合気の自着火開始時期(CAig)は、冷炎開始時期(CAcool)における予混合気の不均一度が大きいほど早くなる傾向がある。

【0195】

また、冷炎開始時期(CAcool)における予混合気の不均一度は、PCCI燃焼用燃料噴射開始時期(CAqpcci)から冷炎開始時期(CAcool)までの経過時間、有効噴射圧力 ΔPcr (PCCI燃焼用燃料噴射圧力Pcrと同噴射時筒内ガス圧力Pgの差)、スワール流速(即ち、スワール比Ratioswlにエンジン回転速度NEを乗じた値)、及び燃料性状(本例では、燃料密度 ρf)に応じて大きく変化すると考えられるから、これらの各値を引数とする上記不均一度を求めるためのマップを予め作製することができる。本第1変形例に係る装置は、係るマップを予めROM62に記憶している。

【0196】

以上のことから、本第1変形例に係る制御装置は、図14～図18に示したルーチン実行時において、上記各引数と、上記マップとに基づいて冷炎開始時期における予混合気の不均一度を求め、同求めた不均一度に応じて第3モードにおける筒内温度Tgの推定値(具体的には、ステップ1745にて計算されていく値)を高めに補正する。このとき、前記求めた不均一度が大きいほど補正量がより大きい値に設定される。

【0197】

この結果、冷炎開始後において(第3モードにおいて)予混合気の温度分布における最高温度が同予混合気の温度(従って、筒内温度Tg)として推定されるようになるから、予混合気自着火開始時期(CAig)がより一層正確に推定され得る。

【0198】

また、上記実施形態では、推定された自着火開始時クランク角度CAigと、予混合気の当量比 ϕ と、上記マップMapjudgeと、から同CAigがPCCI制御可能範囲内にあるか否かの判定が実行される場合(従って、燃料噴射形態が選択される場合)、同予混合気の当量比 ϕ として、同予混合気は燃焼室内において均一に分布しているとの仮定のもとで上記(20)式に従って求められる値が使用されている。

【0199】

しかしながら、PCCI制御可能範囲を決定する当量比 ϕ の値は、実際には、燃焼室内において不均一に分散している予混合気の当量比 ϕ の分布における最大値であると考えられ、且つ、係る当量比 ϕ の最大値は冷炎開始時期(CAcool)における予混合気の不均一度に依存する。

【0200】

以上のことから、本第1変形例に係る制御装置は、更に、図14～図18に示したルーチン実行時において、上記求めた冷炎開始時期における予混合気の不均一度に応じてステップ1805にて計算される予混合気の当量比 ϕ を大きめに補正する。このとき、前記求めた不均一度が大きいほど補正量がより大きい値に設定される。この結果、実際には不均一に分布する予混合気の当量比 ϕ の分布における最大値に基づいて上記判定(従って、燃料噴射形態の選択)が実行されるから、今回の作動サイクルにおける燃料噴射形態をより適切に制御することが可能となる。

【0201】

(第2変形例)

次に、上記実施形態の第2変形例に係る内燃機関の混合気着火時期推定装置を含んだ制御装置について説明する。この第2変形例は、更に、冷炎発熱量 ΔQ_{lto} の学習を実行するものである。

【0202】

図20は、圧縮行程（、及び膨張行程）における筒内ガスの圧力 P_g と容積 V_a の積（ $P V$ 値）の変化を示した図である。図20において、破線は、冷炎、及び自着火（熱炎）が発生せずに筒内ガスが断熱変化すると仮定した場合における $P V$ 値の変化を示していて、実線は、冷炎、及び自着火（熱炎）が実際に発生する場合における $P V$ 値の変化を示している。 10

【0203】

図20に示すように、冷炎開始時期（ CA_{cool} ）以降、冷炎発熱量 ΔQ_{lto} に相当する分だけ $P V$ 値は増加する。換言すれば、実際の冷炎開始時期以降の所定時期における実線に示す値と破線に示す値との差（図20における $\Delta P V$ ）は冷炎発熱量 ΔQ_{lto} を精度良く表す値となり得る。従って、上記 $\Delta P V$ 値を計算することで冷炎発熱量 ΔQ_{lto} を精度良く検出することができる。

【0204】

一方、上記実施形態では、冷炎発熱量 ΔQ_{lto} は、 $P C C I$ 燃焼用燃料噴射量 q_{pcci} 、同燃料の性状（セタン価 CN ）、吸気酸素濃度 $R02in$ 、及び冷炎開始時期における筒内ガス密度 ρ_{cool} を引数とするテーブル $Map \Delta Q_{lto}$ に基づいて上記(19)式に従って推定される。係 20
る引数において、燃料のセタン価 CN は、燃焼室内の圧力を検出する筒内圧力センサの出力値からアイドリング時における着火遅れ時間（燃料噴射開始時点から着火開始までの時間）を検出すること等により正確に検出され得る。また、実際に燃料噴射弁21から噴射される $P C C I$ 燃焼用燃料の噴射量は指令値（従って、上記 $P C C I$ 燃焼用燃料噴射量 q_{pcci} ）と等しいと考えられる。従って、燃料のセタン価 CN と $P C C I$ 燃焼用燃料噴射量 q_{pcci} についての引数は正確な値となり得る。一方、吸気酸素濃度 $R02in$ 、及び筒内ガス密度 ρ_{cool} についての引数には誤差が発生する可能性がある。

【0205】

以上より、冷炎発熱量 ΔQ_{lto} の上記推定値において、図20に示した $\Delta P V$ 値に基づいて 30
検出された検出値に対して誤差が発生する場合、係る誤差は引数として使用される吸気酸素濃度 $R02in$ 、及び筒内ガス密度 ρ_{cool} の各値の誤差に起因するものと考えることができる。

【0206】

そこで、本第2変形例に係る制御装置は、各燃焼室内の圧力（実筒内ガス圧力 P_{gact} ）を検出する筒内圧力センサを気筒毎に備える。また、本第2変形例に係る制御装置は、所定の条件が成立する毎に、筒内圧力センサの出力値に基づいて検出される圧縮行程における実筒内ガス圧力 P_{gact} と筒内容積 V_a （ CA_{act} ）の積である実 $P V$ 値を実クランク角度 CA_{act} に対応した形で計算していく。そして、本第2変形例に係る制御装置は、実際の冷炎開始時期以降の所定時期における実 $P V$ 値と、圧縮行程において筒内ガスが断熱変化するとの 40
仮定のもとで計算される同所定時期における断熱 $P V$ 値との差 $\Delta P V$ を求め、同 $\Delta P V$ に従って、今回の冷炎発熱量 ΔQ_{lto} の検出値を求める。

【0207】

続いて、本第2変形例に係る制御装置は、上記冷炎発熱量 ΔQ_{lto} の検出値と図17のステップ1710にて既に求めている今回の冷炎発熱量 ΔQ_{lto} の推定値との差を求め、同差に基づいて、吸気酸素濃度 $R02in$ 、及び筒内ガス密度 ρ_{cool} の各々の補正係数 K_r 、 K_p を求める。吸気酸素濃度 $R02in$ と筒内ガス密度 ρ_{cool} の補正割合は機関10の運転状態に応じて決定される。

【0208】

そして、本第2変形例に係る制御装置は、次回以降の作動サイクルにおいて、吸気酸素 50

濃度センサ 77 により検出された吸気酸素濃度 $R02in$ の値に上記補正係数 K_r を乗じること
で吸気酸素濃度 $R02in$ の値を補正するとともに、ステップ 1705 にて求めた筒内ガス密
度 ρ_{cool} の値に上記補正係数 K_ρ を乗じることによって筒内ガス密度 ρ_{cool} の値を補正する。こ
の結果、冷炎発熱量 ΔQ_{lto} を推定するための引数として使用される吸気酸素濃度 $R02in$ 、
及び筒内ガス密度 ρ_{cool} の各値が上記冷炎発熱量 ΔQ_{lto} の検出値に基づいて学習されるか
ら、PCCI 燃焼に係わる予混合気の自着火開始時期 (CAig) がより一層精度良く推定さ
れ得る。

【0209】

また、図 21 は、圧縮行程 (、及び膨張行程) における筒内ガスの圧力 P_g と、容積 V_a を
比熱比 κ 乗した値、との積 ($P V^\kappa$ 値) の変化を示した図である。図 20 において、破線
は、冷炎、及び自着火 (熱炎) が発生せずに筒内ガスが断熱変化すると仮定した場合にお
ける $P V^\kappa$ 値の変化を示して、実線は、冷炎、及び自着火 (熱炎) が実際に発生する
場合における $P V^\kappa$ 値の変化を示している。

【0210】

図 21 に示すように、冷炎開始時期 (CAcool) 以降、冷炎発熱量 ΔQ_{lto} に相当する分だ
け $P V^\kappa$ 値は増加する。換言すれば、実際の冷炎開始時期以降の所定時期における実線に
示す値と破線に示す値との差 (図 21 における $\Delta P V^\kappa$) は冷炎発熱量 ΔQ_{lto} を精度良く
表す値となり得る。以上のことから、上記 $\Delta P V$ 値に代えて $\Delta P V^\kappa$ 値に基づいて吸気酸
素濃度 $R02in$ 、及び筒内ガス密度 ρ_{cool} を学習するように構成してもよい。

【0211】

また、吸気酸素濃度は、PCCI 燃焼に係る予混合気の冷炎開始時期から熱炎終了時期
までの期間 (以下、「燃焼期間」と称呼する。) と強い相関があり、吸気酸素濃度が大き
いほど、燃焼速度が速くなることに起因して燃焼期間が短くなるという関係がある。従っ
て、燃焼期間を検出できれば吸気酸素濃度を精度良く検出することができる。

【0212】

一方、燃焼期間は、先に説明した図 20 と同様、圧縮行程 (、及び膨張行程) における
 $P V$ 値の変化を示した図 22 に示すように、上記実 $P V$ 値と上記断熱 $P V$ 値との差が所定
の微小値以上となった時期を冷炎開始時期とし、上記実 $P V$ 値がピークとなる時期を熱炎
終了時期とすることにより、精度良く検出することができる。これは、実 $P V$ 値がピーク
となる時期が実際に熱炎が終了する時期に略相当するという実験結果等に基づく。

【0213】

以上のことから、上記手法により燃焼期間を求め、同求めた燃焼期間に基づいて吸気酸
素濃度を精度良く求めるとともに、同求めた吸気酸素濃度と吸気酸素濃度センサ 77 によ
り検出される吸気酸素濃度 $R02in$ との差に基づいて上記補正係数 K_r (従って、補正係数 K_ρ
) を求めるように構成してもよい。

【0214】

なお、圧縮行程 (、及び膨張行程) における筒内ガスの圧力 P_g と、容積 V_a を比熱比 κ 乗
した値、との積 ($P V^\kappa$ 値、図 21 を参照。) をクランク角度 CA で微分した値 ($P V^\kappa / dCA$) の変化を示した図 23 に示すように、圧縮行程において値 ($P V^\kappa / dCA$) が初めに所定値
未満から同所定値以上となる時期を冷炎開始時期とし、圧縮行程において値 ($P V^\kappa / dCA$) が 2 回目に同所定値以上から同所定値未満となる時期を熱炎終了時期とすることによっ
ても、燃焼期間を精度良く求めることができる。

【0215】

(第 3 変形例)

次に、上記実施形態の第 3 変形例に係る内燃機関の混合気着火時期推定装置を含んだ制
御装置について説明する。この第 3 変形例も、上記第 2 変形例と同様に、冷炎発熱量 ΔQ_{lto}
の学習を実行するものである。

【0216】

本第 3 変形例に係る制御装置も、各燃焼室内の圧力 (実筒内ガス圧力 P_{gact}) を検出す
る筒内圧力センサを気筒毎に備える。そして、所定の条件が成立する毎に、実筒内ガス圧

10

20

30

40

50

力 P_{gact} の変化に基づいて今回の実際の自着火開始時期 CA_{igact} を検出する。続いて、本第3変形例に係る制御装置は、上記実際の自着火開始時期 CA_{igact} と図17のステップ1765にて既に求めている今回の自着火開始時期 CA_{ig} の推定値との差を求めるとともに、この差は冷炎発熱量 ΔQ_{lto} の推定誤差に起因するとの仮定のもと、同差に基づいて冷炎発熱量 ΔQ_{lto} の補正係数 K_q を求める。

【0217】

そして、本第3変形例に係る制御装置は、次回以降の作動サイクルにおいて、図17のステップ1710にて計算された冷炎発熱量 ΔQ_{lto} の推定値に上記補正係数 K_q を乗じることによって冷炎発熱量 ΔQ_{lto} の推定値を補正する。この結果、冷炎発熱量 ΔQ_{lto} の推定値が上記実際の自着火開始時期 CA_{igact} に基づいて学習されるから、PCCI燃焼に係わる予混合
10 気の自着火開始時期 (CA_{ig}) がより一層精度良く推定され得る。

【0218】

なお、上記第3変形例においては、上記実際の自着火開始時期 CA_{igact} に基づいて冷炎発熱量 ΔQ_{lto} の推定値が補正・学習されているが、上記今回の実際の自着火開始時期 CA_{igact} と図17のステップ1765にて既に求めている今回の自着火開始時期 CA_{ig} の推定値との差は自着火開始温度 T_{ig} の設定誤差に起因するとの仮定のもと、同差に基づいて自着火開始温度 T_{ig} を補正・学習するように構成してもよい。

【0219】

(第4変形例)

次に、上記実施形態の第4変形例に係る内燃機関の混合気着火時期推定装置を含んだ制御装置について説明する。この第4変形例は、PCCI燃焼用に噴射された燃料が冷炎開始時期 (CA_{cool}) において燃焼室内壁面に付着する量を更に考慮して、冷炎発熱量 ΔQ_{lto} の推定を行うものである。
20

【0220】

先に述べたように、PCCI燃焼用に圧縮上死点近傍よりも早期に噴射された燃料のうち冷炎開始時期 (CA_{cool}) において燃焼室内壁面に付着している燃料は、冷炎による発熱に寄与し得ないと考えられる。これに対し、上記実施形態ではPCCI燃焼用に噴射された燃料の総てが冷炎による発熱に寄与するとの仮定のもと冷炎発熱量 ΔQ_{lto} を推定しているから、同冷炎発熱量 ΔQ_{lto} の推定値は、実際の冷炎開始時期において燃焼室内壁面に付着している燃料量に応じた分だけ実際値よりも大きめに計算される。
30

【0221】

そうすると、自着火開始時クランク角度 CA_{ig} が上記付着量に応じた分だけ実際の自着火時期よりも早めの時期に推定されることになる。これにより、例えば、図24に示すように、推定された自着火開始時クランク角度 CA_{ig} が、黒い星印に示したようにノイズ大領域に対応する値となっているにも係わらず実際にはPCCI制御可能領域に対応する値になっている場合があり、この結果、燃料噴射形態の選択を誤ることになる場合がある。

【0222】

他方、冷炎開始時期において燃焼室内壁面に付着している燃料量 (付着量) は、PCCI燃焼用燃料噴射量 q_{pcci} そのものに応じて増加するとともに、同燃料噴射開始時点 (CA_{qpcci}) での筒内ガス密度 ρ_g 、及び前記有効噴射圧力 ΔP_{cr} に大きく影響されると考えられる。
40

【0223】

以上のことから、本第4変形例に係る制御装置は、図14～図18に示したルーチン実行時において、PCCI燃焼用燃料噴射量 q_{pcci} と、 q_{pcci} と付着係数 K_a ($0 \leq K_a < 1$) との関係の規定した図25に示したテーブルとから付着係数 K_a を求める。また、本第4変形例に係る制御装置は、PCCI燃焼用燃料噴射開始時点 (CA_{qpcci}) での筒内ガス密度 ρ_g と、前記有効噴射圧力 ΔP_{cr} と、 ρ_g 及び ΔP_{cr} と付着係数 K_b ($0 \leq K_b < 1$) との関係の規定した図26に示したテーブルとから付着係数 K_b を求める。

【0224】

そして、本第4変形例に係る制御装置は、PCCI燃焼用に噴射される燃料の全量 q_{pcc}
50

iのうち冷炎開始時期において燃焼室内壁面に付着していない燃料量の割合は、同噴射される燃料の全量が冷炎による発熱に寄与すると仮定して推定された上記冷炎発熱量 ΔQ_{lto} に対する実際の冷炎発熱量の割合に等しいとの仮定に基づき、図17のステップ1710にて求めた冷炎発熱量 ΔQ_{lto} に値 $(1-Ka)$ と値 $(1-kb)$ とを乗じることで冷炎発熱量 ΔQ_{lto} を補正する。これにより、上記付着量が考慮されて冷炎発熱量がより一層正確に推定でき、この結果、予混合気自着火開始時期がより一層正確に推定され得る。

【0225】

(第5変形例)

次に、上記実施形態の第5変形例に係る内燃機関の混合気着火時期推定装置を含んだ制御装置について説明する。この第5変形例は、冷炎開始時期(CAcool)において予混合気が燃焼室内壁面近傍まで分散する程度を更に考慮して、冷炎発熱量 ΔQ_{lto} の推定を行うものである。

【0226】

図27は、或る所定条件下における、PCCI燃焼用燃料噴射開始時期と、冷炎反応及び熱炎反応の開始時期との関係についての実験結果の一例を示したグラフである。図27から理解できるように、冷炎開始時期はPCCI燃焼用燃料噴射時期の影響をあまり受けない一方、熱炎開始時期(即ち、自着火開始時期)はPCCI燃焼用燃料噴射時期が遅くなるほど早くなるという傾向がある。換言すれば、PCCI燃焼用燃料噴射開始時期(CA_{pcci})から冷炎開始時期(CA_{cool})までの経過時間 ΔT_{delay} が長くなるほど自着火開始時期が遅くなる。

【0227】

この結果は、上述した燃焼室内壁面に付着している燃料と同様、燃焼室内の予混合気のうち冷炎開始時期において燃焼室内壁面近傍にて分散している予混合気が冷炎による発熱に寄与し得ないことに基づく、と考えることができる。即ち、上記経過時間 ΔT_{delay} が長くなるほど、予混合気が冷炎開始時期において燃焼室内壁面近傍まで分散する程度が大きくなって冷炎による発熱に寄与する予混合気の量が減少する。また、このように、予混合気が燃焼室内壁面近傍まで分散する程度の増大により冷炎による発熱に寄与する予混合気量が減少する程度は、PCCI燃焼用燃料噴射量 q_{pcci} が少ないほど顕著になるものと考えることができる。

【0228】

以上のことから、本第5変形例に係る制御装置は、図14～図18に示したルーチン実行時において、PCCI燃焼用燃料噴射量 q_{pcci} と、上記経過時間 ΔT_{delay} と、 q_{pcci} 及び ΔT_{delay} と補正係数 Kc ($0 < Kc \leq 1$)との関係を規定した図28に示したテーブルとから補正係数 Kc を求める。そして、本第5変形例に係る制御装置は、図17のステップ1710にて求めた冷炎発熱量 ΔQ_{lto} に上記補正係数 Kc を乗じることで冷炎発熱量 ΔQ_{lto} を補正する。これにより、冷炎開始時期において予混合気が燃焼室内壁面近傍まで分散する程度が更に考慮されて冷炎発熱量がより一層正確に推定でき、この結果、予混合気自着火開始時期がより一層正確に推定され得る。

【0229】

ところで、上述のように、上記経過時間 ΔT_{delay} が長くなるほど冷炎発熱量が小さくなって予混合気の自着火開始時期が遅くなる傾向がある。換言すれば、上記経過時間 ΔT_{delay} を調整すれば、冷炎発熱量(従って、予混合気の自着火開始時期)を調整することができることになる。他方、一般に、上記経過時間 ΔT_{delay} は、図27に示した実験結果から容易に理解できるように、PCCI燃焼用燃料噴射開始時期(CA_{pcci})が早くなるほど長くなる傾向があるから、PCCI燃焼用燃料の噴射開始時期を調整すれば上記経過時間 ΔT_{delay} を調整することができる。

【0230】

以上のことから、推定された今回の作動サイクルにおける自着火開始時クランク角度CA_{ig}がPCCI制御可能範囲から外れていると判定される場合であっても、今回の作動サイクルにおけるPCCI燃焼用燃料噴射時期(CA_{pcci})を調整することで今回の作動サイ

10

20

30

40

50

クルにおける上記経過時間 ΔT_{delay} を調整すれば、今回の作動サイクルにおける実際の自着火開始時期を同 P C C I 制御可能範囲内に制御することが可能となる場合がある。

【0231】

より具体的に述べると、図 28 のテーブルと同一のテーブルを示した図 29 から理解できるように、先ず、経過時間 ΔT_{delay} と P C C I 燃焼用燃料噴射量 q_{pcci} との関係がケース 1 に示す関係にある場合 (q_{pcci} が所定値以上である場合)、冷炎発熱量 ΔQ_{lto} を補正する補正係数 K_c は常に「1」となって冷炎発熱量 ΔQ_{lto} を変更することができない。これは、P C C I 燃焼用燃料噴射時期を調整しても自着火開始時期を調整できないことを意味する。

【0232】

次に、経過時間 ΔT_{delay} と P C C I 燃焼用燃料噴射量 q_{pcci} との関係がケース 2 に示す関係にある場合 (q_{pcci} が所定値未満であって、且つ、 ΔT_{delay} が第 1 所定値以下である場合)、 ΔT_{delay} を大きくすれば補正係数 K_c を「1」から減少せしめることができる。これは、P C C I 燃焼用燃料噴射開始時クランク角度 CA_{pcci} を図 8 のステップ 815 にて決定される値よりも進角方向に補正すれば自着火開始時期を遅くする方向に調整できることを意味する。換言すれば、この場合、「ノイズ大」とであると判定されているとき (ステップ 1825 にて $X_{\text{HAN}} = 1$ となっているとき) において、 CA_{pcci} をステップ 815 にて決定される値よりも進角方向に補正すれば、実際の自着火開始時期を P C C I 制御可能範囲内に制御することができる場合があることを意味する。

【0233】

次に、経過時間 ΔT_{delay} と P C C I 燃焼用燃料噴射量 q_{pcci} との関係がケース 3 に示す関係にある場合 (q_{pcci} が所定値未満であって、且つ、 ΔT_{delay} が上記第 1 所定値より大きく且つ第 2 所定値以下である場合)、 ΔT_{delay} を大きくすれば補正係数 K_c を減少せしめることができ、一方、 ΔT_{delay} を小さくすれば補正係数 K_c を増大せしめることができる。これは、P C C I 燃焼用燃料噴射開始時クランク角度 CA_{pcci} を図 8 のステップ 815 にて決定される値よりも進角方向に補正すれば自着火開始時期を遅くする方向に調整でき、 CA_{pcci} を図 8 のステップ 815 にて決定される値よりも遅角方向に補正すれば自着火開始時期を早くする方向に調整できることを意味する。換言すれば、この場合、「ノイズ大」とであると判定されているとき (ステップ 1825 にて $X_{\text{HAN}} = 1$ となっているとき) において、 CA_{pcci} をステップ 815 にて決定される値よりも進角方向に補正すれば、実際の自着火開始時期を P C C I 制御可能範囲内に制御することができる場合があり、一方、「失火発生」と判定されているとき (ステップ 1825 にて $X_{\text{HAN}} = 2$ となっているとき) においては、 CA_{pcci} をステップ 815 にて決定される値よりも遅角方向に補正すれば、実際の自着火開始時期を P C C I 制御可能範囲内に制御することができる場合があることを意味する。

【0234】

最後に、経過時間 ΔT_{delay} と P C C I 燃焼用燃料噴射量 q_{pcci} との関係がケース 4 に示す関係にある場合 (q_{pcci} が所定値未満であって、且つ、 ΔT_{delay} が上記第 2 所定値より大きい場合)、 ΔT_{delay} を小さくすれば補正係数 K_c を増大せしめることができる。これは、P C C I 燃焼用燃料噴射開始時クランク角度 CA_{pcci} を図 8 のステップ 815 にて決定される値よりも遅角方向に補正すれば自着火開始時期を早くする方向に調整できることを意味する。換言すれば、この場合、「失火発生」と判定されているとき (ステップ 1825 にて $X_{\text{HAN}} = 2$ となっているとき) において、 CA_{pcci} をステップ 815 にて決定される値よりも遅角方向に補正すれば、実際の自着火開始時期を P C C I 制御可能範囲内に制御することができる場合があることを意味する。

【0235】

一方、P C C I 燃焼用燃料噴射開始時クランク角度 CA_{pcci} をステップ 815 にて決定される値 (即ち、定常適合値 (時期)) から補正可能な範囲には一定の限界があり、係る CA_{pcci} の補正可能範囲は、図 30 に示す自着火開始時クランク角度 CA_{ig} の補正可能領域に対応している。

【0236】

以上のことから、本第5変形例に係る制御装置は、図14～図18に示したルーチン実行時において、「PCCI制御可能」と判定されているとき（図18のステップ1825において $XHAN=3$ となっているとき）は、上記実施形態と同様、原則的に要求燃料噴射量 q_{fin} の全量をPCCI燃焼用燃料としてPCCI燃焼用燃料噴射開始時期（ CA_{qpcci} ）に噴射する。

【0237】

一方、本第5変形例に係る制御装置は、「ノイズ大」とであると判定されているとき（ステップ1825において $XHAN=1$ となっているとき）は、図17のステップ1765にて計算した自着火開始時クランク角度 CA_{ig} と、図18のステップ1805にて計算した当量比 ϕ の関係が選択した Map_{judge} 上において図30に示した自着火開始時クランク角度 CA_{ig} の補正可能領域内に対応していて、且つ、経過時間 ΔT_{delay} とPCCI燃焼用燃料噴射量 q_{pcci} との関係がケース2又はケース3に対応する関係にあるか否かを判定する。そして、「No」と判定する場合、本第5変形例に係る制御装置は、上記実施形態と同様、要求燃料噴射量 q_{fin} を所定の分割割合 $Ratio_{qpcci}$ をもってPCCI燃焼用燃料と拡散燃焼用燃料とに分けて噴射する。一方、「Yes」と判定する場合、本第5変形例に係る制御装置は、上記実施形態と異なり、今回のPCCI燃焼用燃料噴射開始時クランク角度 CA_{qpcci} をステップ815にて決定される値から所定量だけ進角させるとともに、要求燃料噴射量 q_{fin} の全量をPCCI燃焼用燃料として上記進角されたPCCI燃焼用燃料噴射開始時期（ CA_{qpcci} ）に噴射する。これにより、ノイズ大となる事態を発生させることなく NO_x 、PMの発生量を少なくすることができる。

【0238】

他方、本第5変形例に係る制御装置は、「失火発生」とであると判定されているとき（ステップ1825において $XHAN=2$ となっているとき）は、図17のステップ1765にて計算した自着火開始時クランク角度 CA_{ig} と、図18のステップ1805にて計算した当量比 ϕ の関係が選択した Map_{judge} 上において図30に示した自着火開始時クランク角度 CA_{ig} の補正可能領域内に対応していて、且つ、経過時間 ΔT_{delay} とPCCI燃焼用燃料噴射量 q_{pcci} との関係がケース4に対応する関係にあるか否かを判定する。そして、「No」と判定する場合、本第5変形例に係る制御装置は、上記実施形態と同様、要求燃料噴射量 q_{fin} の全量を拡散燃焼用として拡散燃焼用燃料噴射開始時期（ CA_{qdiff} ）に噴射する。一方、「Yes」と判定する場合、本第5変形例に係る制御装置は、上記実施形態と異なり、今回のPCCI燃焼用燃料噴射開始時クランク角度 CA_{qpcci} をステップ815にて決定される値から所定量だけ遅角させるとともに、要求燃料噴射量 q_{fin} の全量をPCCI燃焼用燃料として上記遅角されたPCCI燃焼用燃料噴射開始時期（ CA_{qpcci} ）に噴射する。これにより、失火発生となる事態を発生させることなく NO_x 、PMの発生量を少なくすることができる。

【0239】

(第6変形例)

次に、上記実施形態の第6変形例に係る内燃機関の混合気着火時期推定装置を含んだ制御装置について説明する。この第6変形例は、推定された自着火開始時クランク角度 CA_{ig} がPCCI制御可能領域内にあると判定されなかった場合において、燃料噴射圧力 P_{cr} の補正を行うものである。

【0240】

先に述べたように、機関の負荷が比較的高い場合（従って、予混合気の当量比 ϕ が比較的大きい場合）、燃料噴射圧力 P_{cr} を高くするほど予混合気の自着火開始時期が早くなる傾向がある。これは、主として、燃料噴射圧力 P_{cr} が高くなるほど液体燃料が霧化する速度（蒸発速度）が速くなることに基づく。

【0241】

従って、図31に示すように、機関の負荷（従って、予混合気の当量比 ϕ ）が所定値よりも大きい場合であって、推定された今回の作動サイクルにおける自着火開始時クランク

角度CAigがPCCI制御可能範囲から遅い方向に外れていると判定される場合（即ち、「失火発生」と判定される場合。図31における黒い星印を参照。）であっても、今回の作動サイクルにおける燃料噴射圧力Pcrを図8のステップ825にて決定されている値（定常適合値）よりも所定量だけ高くすることにより、今回の作動サイクルにおける実際の自着火開始時期をPCCI制御可能範囲内に制御することが可能となる場合がある。

【0242】

この場合、実際の自着火開始時期の進角可能な量（進角可能量CAadvmax）は機関10の状態に応じて決定され、進角可能量CAadvmaxは、エンジン回転速度NEと、当量比 ϕ と、NE及び ϕ と進角可能量CAadvmaxとの関係を規定する図32に示したテーブルと、により求めることができる。

10

【0243】

以上のことから、本第6変形例に係る制御装置は、図14～図18に示したルーチン実行時において、「PCCI制御可能」と判定されているとき（図18のステップ1825においてXHAN=3となっているとき）は、上記実施形態と同様、原則的に要求燃料噴射量qfinの全量をPCCI燃焼用燃料としてPCCI燃焼用燃料噴射開始時期（CAqpcci）に噴射する。また、本第6変形例に係る制御装置は、「ノイズ大」とであると判定されているとき（ステップ1825においてXHAN=1となっているとき）も、上記実施形態と同様、要求燃料噴射量qfinを所定の分割割合RatioqpcciをもってPCCI燃焼用燃料と拡散燃焼用燃料とに分けて噴射する。

【0244】

20

一方、本第6実施形態に係る制御装置は、「失火発生」とであると判定されているとき（ステップ1825においてXHAN=2となっているとき）は、図17のステップ1765にて計算した自着火開始時クランク角度CAigと、図18のステップ1805にて計算した当量比 ϕ と、選択したMapjudgeとから、CAigをPCCI制御可能領域内にするために必要なCAigの進角量（要求進角量CAadv）を求める。そして、予混合気の当量比 ϕ が所定値よりも大きくて、且つ、要求進角量CAadvが、エンジン回転速度NEと、上記当量比 ϕ と、図32に示したテーブルとから得られる進角可能量CAadvmax以下となっているか否かを判定する。そして、「No」と判定する場合、本第6変形例に係る制御装置は、上記実施形態と同様、要求燃料噴射量qfinの全量を拡散燃焼用として拡散燃焼用燃料噴射開始時期（CAqdiff）に噴射する。一方、「Yes」と判定する場合、本第6変形例に係る制御装置は、上記実施形態と異なり、要求進角量CAadvと、CAadvと噴射圧増加量 ΔPcr の関係を規定する図33に示すテーブルと、に基づいて噴射圧増加量 ΔPcr を求め、今回の燃料噴射圧力Pcrをステップ825にて決定される値（定常適合値）から同求めた噴射圧増加量 ΔPcr だけ高くするとともに、要求燃料噴射量qfinの全量をPCCI燃焼用燃料としてPCCI燃焼用燃料噴射開始時期（CAqpcci）に上記増大せしめられた噴射圧力をもって噴射する。これにより、失火発生となる事態を発生させることなくNOx、PMの発生量を少なくすることができる。

30

【0245】

また、機関の負荷が比較的低い場合（従って、予混合気の当量比 ϕ が比較的小さい場合）、燃料噴射圧力Pcrを低くするほど予混合気の自着火開始時期が早くなる傾向がある。これは、主として、燃料噴射圧力Pcrが低くなるほど予混合気の過分散が抑制され（即ち、予混合気の不均一度が大きくなり）、この結果、上述したように自着火開始時期が早くなることに基づく。

40

【0246】

従って、図34に示すように、機関の負荷（従って、予混合気の当量比 ϕ ）が所定値よりも小さい場合であって、推定された今回の作動サイクルにおける自着火開始時クランク角度CAigがPCCI制御可能範囲から遅い方向に外れていると判定される場合（即ち、「失火発生」と判定される場合。図34における黒い星印を参照。）であっても、今回の作動サイクルにおける燃料噴射圧力Pcrを図8のステップ825にて決定されている値（定常適合値）よりも所定量だけ低くすることにより、今回の作動サイクルにおける実際の自

50

着火開始時期をPCCI制御可能範囲内に制御することが可能となる場合がある。

【0247】

この場合も、実際の自着火開始時期の進角可能な量（進角可能量CAadvmax）は機関10の状態に応じて決定され、進角可能量CAadvmaxは、エンジン回転速度NEと、当量比 ϕ と、NE及び ϕ と進角可能量CAadvmaxとの関係を規定する図35に示したテーブルと、により求めることができる。

【0248】

以上のことから、本第6変形例に係る制御装置は、図14～図18に示したルーチン実行時において、「失火発生」とであると判定されているとき（ステップ1825においてXHAN=2となっているとき）は、図17のステップ1765にて計算した自着火開始時クランク角度CAigと、図18のステップ1805にて計算した当量比 ϕ と、選択したMapjudgeとから、CAigをPCCI制御可能領域内にするために必要なCAigの進角量（要求進角量CAadv）を求める。そして、予混合気の当量比 ϕ が所定値よりも小さくて、且つ、要求進角量CAadvが、エンジン回転速度NEと、上記当量比 ϕ と、図35に示したテーブルとから得られる進角可能量CAadvmax以下となっているか否かを判定する。そして、「No」と判定する場合、本第6変形例に係る制御装置は、上記実施形態と同様、要求燃料噴射量qfinの全量を拡散燃焼用として拡散燃焼用燃料噴射開始時期（CAqdiff）に噴射する。一方、「Yes」と判定する場合、本第6変形例に係る制御装置は、上記実施形態と異なり、要求進角量CAadvと、CAadvと噴射圧減少量 ΔPcr の関係を規定する図36に示すテーブルと、に基づいて噴射圧減少量 ΔPcr を求め、今回の燃料噴射圧力Pcrをステップ825にて決定される値（定常適合値）から同求めた噴射圧増加量 ΔPcr だけ低くするとともに、要求燃料噴射量qfinの全量をPCCI燃焼用燃料としてPCCI燃焼用燃料噴射開始時期（CAqpcci）に上記減少せしめられた噴射圧力をもって噴射する。これにより、失火発生となる事態を発生させることなくNOx、PMの発生量を少なくすることができる。

【0249】

（第7変形例）

次に、上記実施形態の第7変形例に係る内燃機関の混合気着火時期推定装置を含んだ制御装置について説明する。この第7変形例は、推定された自着火開始時クランク角度CAigがPCCI制御可能領域内にあると判定されなかった場合において、筒内温度Tgを強制的に増減せしめるものである。

【0250】

推定された今回の作動サイクルにおける予混合気自着火開始時期（CAig）がPCCI制御可能範囲から早い方向に外れていると判定される場合（即ち、「ノイズ大」とであると判定される場合）、今回の作動サイクルにおける予混合気の温度（従って、筒内温度Tg）を強制的に低くすることができれば、今回の作動サイクルにおける実際の自着火開始時期をPCCI制御可能範囲内に制御することが可能となる。

【0251】

筒内温度Tgを強制的に低くする手法としては、例えば、筒内ガスの一部を燃焼室外に放出することで筒内ガスの量を減少させる、機関の圧縮比を低くする、新たに所定の冷却材（例えば、水等）を燃焼室内に注入する、等の処置が考えられる。ここで、筒内ガスの量を減少させる具体的手法としては、例えば、「ノイズ大」とであると判定された時点（図18のステップ1825実行時。圧縮開始直後の時点）で、吸気弁Vinを所定の短時間だけ開ける、図37に示すように吸気マニホールド31の中途部と燃焼室とを連通する連通路31aの途中に配設された開閉弁31bを所定の短時間だけ開ける、等の処置が考えられる。

【0252】

また、機関の圧縮比を低くする具体的手法としては、例えば、図38に示すように、燃焼室容積をピストンの位置とは無関係に調整可能であって、シリンダ24aと同シリンダ24a内を気密的に移動するピストン24bとから成る燃焼室容積調整機構24を設け、同ピストン24bの位置を制御することで燃焼室内の容積を増大させる、等の処置が考

られる。

【0253】

一方、推定された今回の作動サイクルにおける予混合気自着火開始時期 (CAig) が P C C I 制御可能範囲から遅い方向に外れていると判定される場合 (即ち、「失火発生」と判定される場合)、今回の作動サイクルにおける予混合気の温度 (従って、筒内温度 Tg) を強制的に高くすることができれば、今回の作動サイクルにおける実際の自着火開始時期を P C C I 制御可能範囲内に制御することが可能となる。

【0254】

筒内温度 Tg を強制的に高くする手法としては、例えば、新たに所定のガスを燃焼室内に注入することで筒内ガスの量を増大する、機関の圧縮比を増大する、グローで燃焼室を加熱する、等の処置が考えられる。 10

【0255】

以上のことから、本第7変形例に係る制御装置は、図14～図18に示したルーチン実行時において、「P C C I 制御可能」と判定されているとき (図18のステップ1825において X H A N = 3 となっているとき) は、上記実施形態と同様、原則的に要求燃料噴射量 q_{fin} の全量を P C C I 燃焼用燃料として P C C I 燃焼用燃料噴射開始時期 (CAqpci) に噴射する。

【0256】

一方、本第7変形例に係る制御装置は、「失火発生」と判定されているとき (ステップ1825において X H A N = 2 となっているとき) は、上記実施形態とは異なり、上記筒内温度 Tg を強制的に高くする手法により今回の作動サイクルにおける筒内ガス温度 Tg を所定量だけ強制的に高くするとともに、要求燃料噴射量 q_{fin} の全量を P C C I 燃焼用燃料として P C C I 燃焼用燃料噴射開始時期 (CAqpci) に噴射する。これにより、失火発生となる事態を発生させることなく N O x、P M の発生量を少なくすることができる。 20

【0257】

同様に、本第7変形例に係る制御装置は、「ノイズ大」とであると判定されているとき (ステップ1825において X H A N = 1 となっているとき) は、上記実施形態とは異なり、上記筒内温度 Tg を強制的に低くする手法により今回の作動サイクルにおける筒内ガス温度 Tg を所定量だけ強制的に低くするとともに、要求燃料噴射量 q_{fin} の全量を P C C I 燃焼用燃料として P C C I 燃焼用燃料噴射開始時期 (CAqpci) に噴射する。これにより、ノイズ大となる事態を発生させることなく N O x、P M の発生量を少なくすることができる。 30

【0258】

(第8変形例)

次に、上記実施形態の第8変形例に係る内燃機関の混合気着火時期推定装置を含んだ制御装置について説明する。この第8変形例は、P C C I 燃焼に関わる予混合気の自着火開始時期 (CAig) を推定するための筒内温度 Tg を簡易的に算出するものである。

【0259】

上記実施形態では、圧縮行程における筒内温度 Tg を推定するために、各種熱量、エネルギー量を計算する必要があり、計算の負荷が比較的大きい。これに対し、本第8変形例に係る制御装置は、図39に示すように、圧縮開始時以降において筒内ガスの状態が断熱変化するとの仮定のもとに、圧縮開始時において、圧縮開始時における筒内ガスの状態に基づいて断熱変化時筒内温度 Tadi をクランク角度 CA の関数 $\text{funcTadi}(CA)$ として求める。 40

【0260】

一方、本第8変形例に係る制御装置は、圧縮開始時において、図17のステップ1710と同様の手法にて求めた冷炎発熱量 ΔQ_{lto} による筒内温度 Tg の増加量 ΔT_{lto} を下記(23)式に従って求める。下記(23)式において、M0は上記(3)式にて計算される圧縮開始時筒内ガス質量であり、Cpは筒内ガスの比熱 (ここでは、一定値) である。pfは燃料密度である。

【0261】

$$\Delta Tlto = \Delta Qlto / \{ (M0 + qpcci \cdot \rho f) \cdot Cp \} \quad \dots (23)$$

【0262】

そして、本第8変形例に係る制御装置は、図39に示すように、関数funcTadi(CA)の値（従って、断熱変化時筒内温度Tadi）に上記 $\Delta Tlto$ を加えた値（ $\Delta Tlto$ だけオフセットした値）を筒内温度Tgとし、この筒内温度Tgが上記自着火開始温度Tigに達した時点が自着火開始時期（CAig）として推定する。これにより、簡易な計算で自着火開始時期（CAig）を推定することができる。

【図面の簡単な説明】

【0263】

【図1】本発明の実施形態に係る内燃機関の混合気着火時期推定装置を含んだ制御装置を10
4気筒内燃機関（ディーゼル機関）に適用したシステム全体の概略構成図である。

【図2】或る一つの気筒のシリンダ内（筒内）に吸気マニホールドからガスが吸入され、筒内に吸入されたガスが排気マニホールドへ排出される様子を模式的に示した図である。

【図3】圧縮行程（及び、膨張行程）における筒内温度及び燃焼室内における熱発生率の変化の一例を示した図である。

【図4】機関が定常運転状態にある場合における、予混合気の当量比とPCCI制御可能領域との関係の一例を示した図である。

【図5】機関が過渡運転状態にある場合における、吸気酸素濃度とPCCI制御可能領域との関係を示した図である。

【図6】機関が過渡運転状態にある場合における、筒内ガス質量とPCCI制御可能領域20との関係を示した図である。

【図7】「ノイズ大」と判定された場合において、要求燃料噴射量をPCCI燃焼用噴射量と拡散燃焼用噴射量とに分割する際の分割割合の考え方についての理解を容易にするための図である。

【図8】図1に示したCPUが実行する燃料噴射量等の計算をするためのルーチンを示したフローチャートである。

【図9】図1に示したCPUが図8に示したルーチンを実行する際に参照する要求燃料噴射量を決定するためのテーブルである。

【図10】図1に示したCPUが図8に示したルーチンを実行する際に参照するPCCI燃焼用燃料噴射時クランク角度を決定するためのテーブルである。30

【図11】図1に示したCPUが図8に示したルーチンを実行する際に参照する拡散燃焼用燃料噴射時クランク角度を決定するためのテーブルである。

【図12】図1に示したCPUが図8に示したルーチンを実行する際に参照する指令燃料噴射圧力を決定するためのテーブルである。

【図13】図1に示したCPUが図8に示したルーチンを実行する際に参照するPCCI制御可能最大噴射量を決定するためのテーブルである。

【図14】図1に示したCPUが実行するPCCI燃焼時における自着火開始時期の計算、及びPCCI制御の可否判定を行うためのルーチンの第1番目の部分を示したフローチャートである。

【図15】図1に示したCPUが実行するPCCI燃焼時における自着火開始時期の計算40、及びPCCI制御の可否判定を行うためのルーチンの第2番目の部分を示したフローチャートである。

【図16】図1に示したCPUが実行するPCCI燃焼時における自着火開始時期の計算、及びPCCI制御の可否判定を行うためのルーチンの第3番目の部分を示したフローチャートである。

【図17】図1に示したCPUが実行するPCCI燃焼時における自着火開始時期の計算、及びPCCI制御の可否判定を行うためのルーチンの第4番目の部分を示したフローチャートである。

【図18】図1に示したCPUが実行するPCCI燃焼時における自着火開始時期の計算、及びPCCI制御の可否判定を行うためのルーチンの第5番目の部分を示したフローチャ50

ャートである。

【図 19】図 1 に示した CPU が実行する燃料噴射制御を実行するためのルーチンを示したフローチャートである。

【図 20】本発明の実施形態の第 2 変形例に係る内燃機関の制御装置が筒内ガスの P V 値から冷炎発熱量を検出する際に使用する $\Delta P V$ を説明するための図である。

【図 21】本発明の実施形態の第 2 変形例に係る内燃機関の制御装置が筒内ガスの P V * 値から冷炎発熱量を検出する際に使用する $\Delta P V^*$ を説明するための図である。

【図 22】本発明の実施形態の第 2 変形例に係る内燃機関の制御装置が筒内ガスの P V 値から燃焼期間を検出する手法を示した図である。

【図 23】本発明の実施形態の第 2 変形例に係る内燃機関の制御装置が筒内ガスの ($d P V^* / d C A$) 値から燃焼期間を検出する手法を示した図である。 10

【図 24】燃焼室内壁面への燃料付着により実際の自着火開始時期が遅くなることを説明するための図である。

【図 25】本発明の実施形態の第 4 変形例に係る内燃機関の制御装置の CPU が参照する付着係数 K_a を決定するためのテーブルである。

【図 26】本発明の実施形態の第 4 変形例に係る内燃機関の制御装置の CPU が参照する付着係数 K_b を決定するためのテーブルである。

【図 27】或る所定条件下における、P C C I 燃焼用燃料噴射開始時期と、冷炎反応及び熱炎反応の開始時期との関係についての実験結果の一例を示したグラフである

【図 28】本発明の実施形態の第 5 変形例に係る内燃機関の制御装置の CPU が参照する冷炎発熱量の補正係数 K_c を決定するためのテーブルである。 20

【図 29】本発明の実施形態の第 5 変形例に係る内燃機関の制御装置の CPU が参照する P C C I 燃焼用燃料噴射時期の調整による自着火開始時期の調整の可否を判定するためのテーブルである。

【図 30】P C C I 燃焼用燃料噴射時期の調整による自着火開始時クランク角度の補正可能領域を示した図である。

【図 31】機関の負荷が比較的高い場合において噴射圧力の増大により実際の自着火開始時期が早くなることを説明するための図である。

【図 32】本発明の実施形態の第 6 変形例に係る内燃機関の制御装置の CPU が参照する自着火開始時期の進角可能量を決定するためのテーブルである。 30

【図 33】本発明の実施形態の第 6 変形例に係る内燃機関の制御装置の CPU が参照する要求進角量と噴射圧増加量との関係を規定するテーブルである。

【図 34】機関の負荷が比較的低い場合において噴射圧力の減少により実際の自着火開始時期が早くなることを説明するための図である。

【図 35】本発明の実施形態の第 6 変形例に係る内燃機関の制御装置の CPU が参照する自着火開始時期の進角可能量を決定するためのテーブルである。

【図 36】本発明の実施形態の第 6 変形例に係る内燃機関の制御装置の CPU が参照する要求進角量と噴射圧減少量との関係を規定するテーブルである。

【図 37】筒内ガス質量を減少させるために、吸気マニホールドの中途部と燃焼室とを連通する連通路と、その途中に配設した開閉弁とを含んだ機関の燃焼室周辺の模式図である 40

【図 38】機関の圧縮比を低くするために、燃焼室容積調整機構を設けた機関の燃焼室周辺の模式図である。

【図 39】筒内温度を簡易に求める手法を説明するための図である。

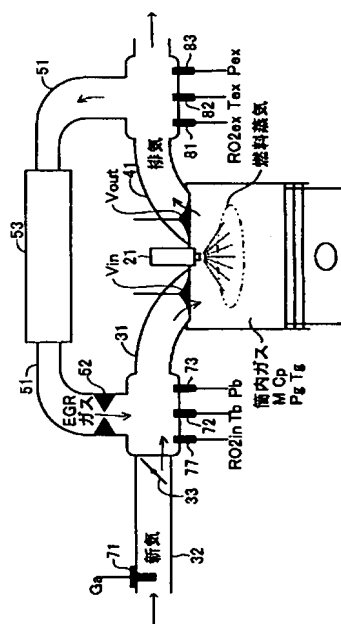
【符号の説明】

【0264】

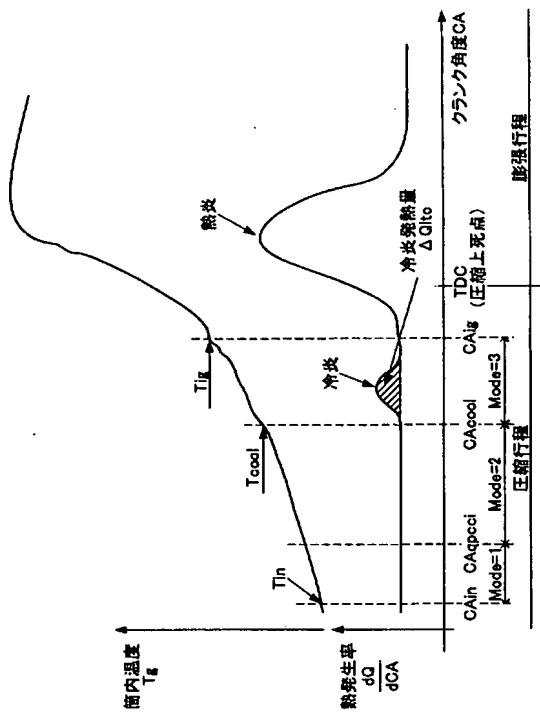
21…燃料噴射弁、35c…ターボチャージャ絞り弁、52…EGR制御弁、60…電気制御装置、61…CPU、71…エアフローメータ、72…吸気温センサ、73…吸気管圧力センサ、74…クランクポジションセンサ、75…アクセル開度センサ、76…燃料温度センサ、77…吸気酸素濃度センサ、78…水温センサ、81…排気酸素濃度セン 50

サ、 82 …排気温センサ、 83 …排気圧力センサ

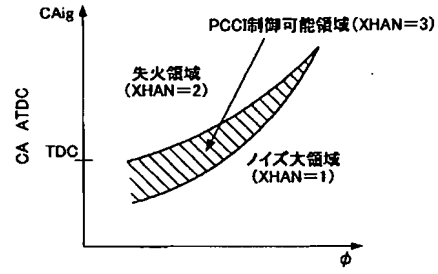
【图 2】



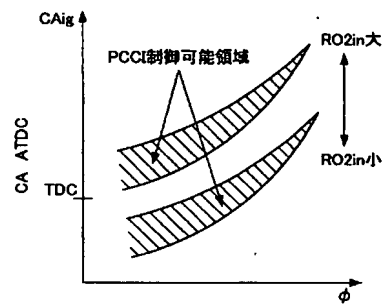
【図3】



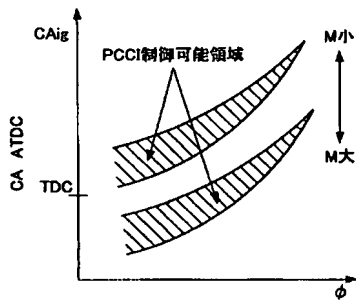
【図4】



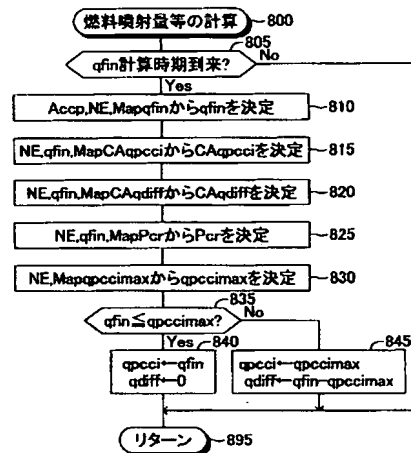
【図5】



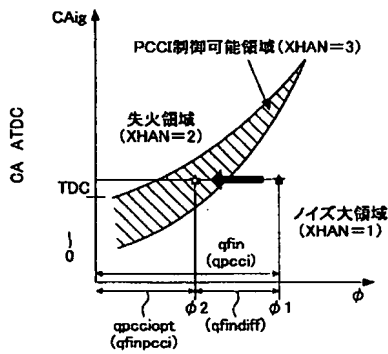
【図6】



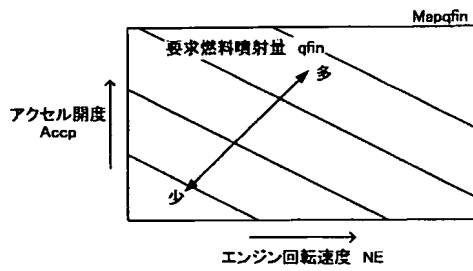
【図8】



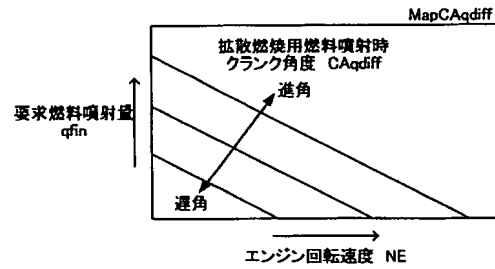
【図7】



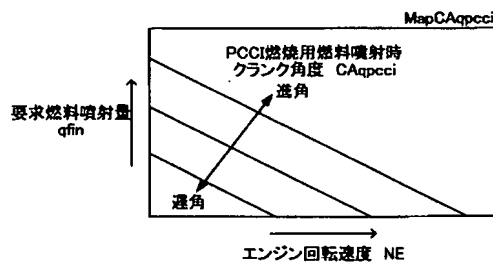
【図 9】



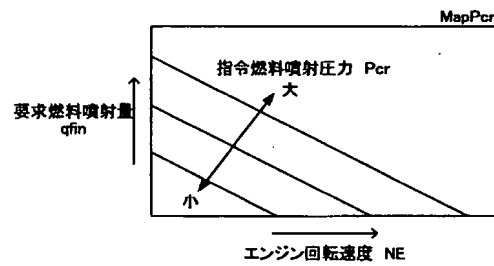
【図 11】



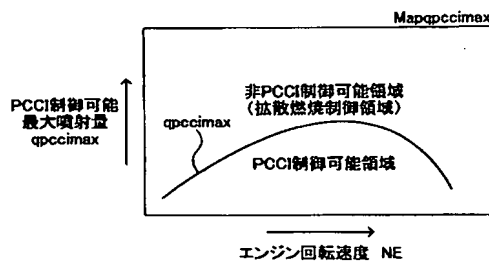
【図 10】



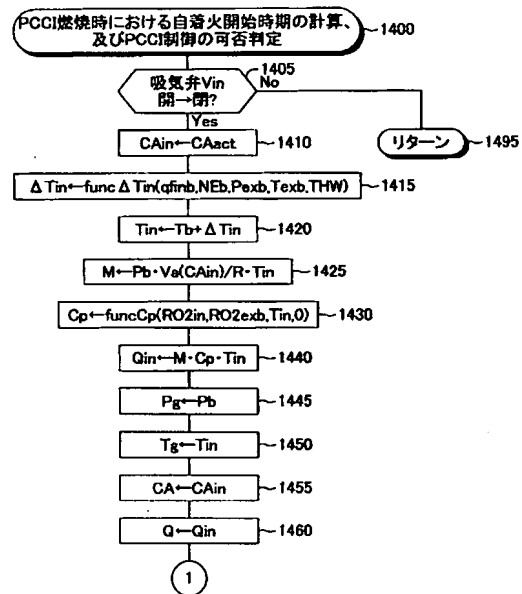
【図 12】



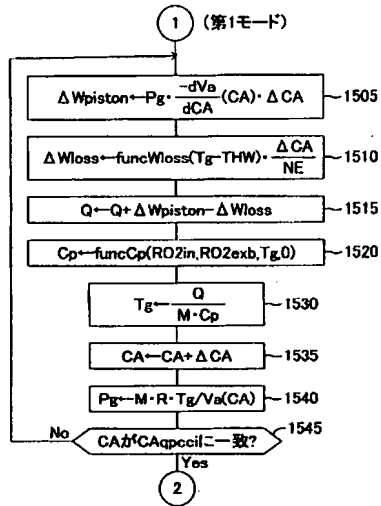
【図 13】



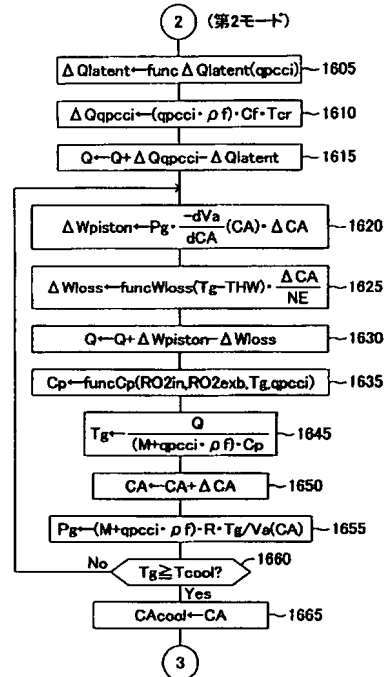
【図 14】



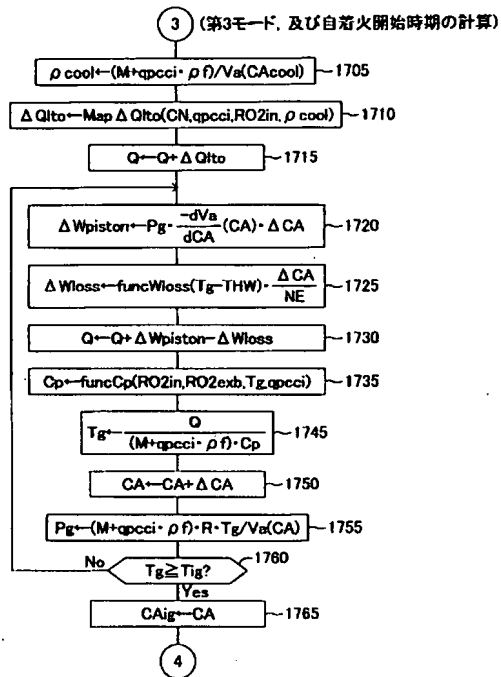
【図15】



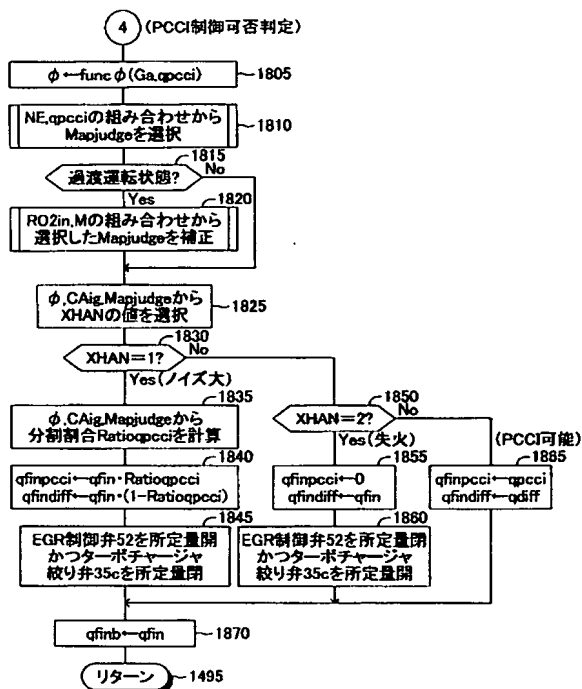
【図16】



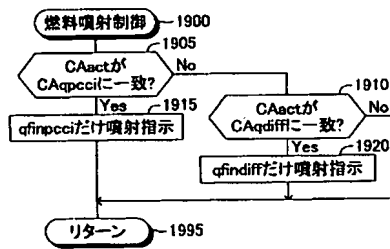
【図17】



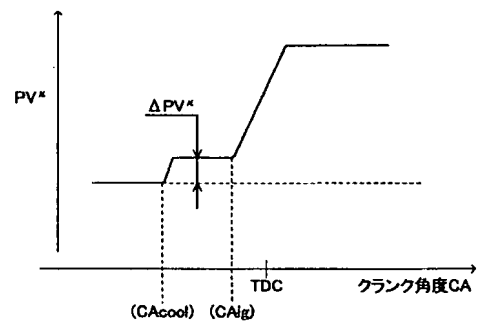
【図18】



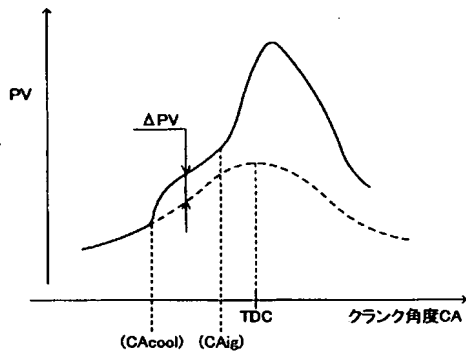
【図19】



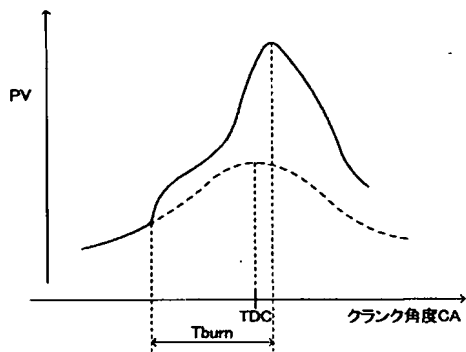
【図21】



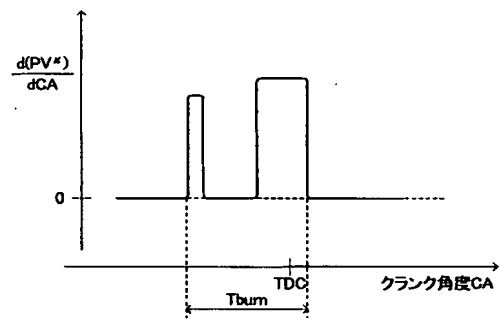
【図20】



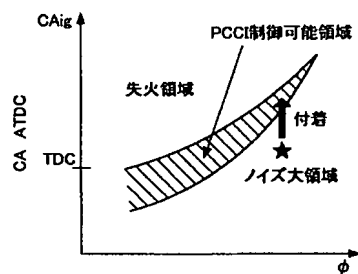
【図22】



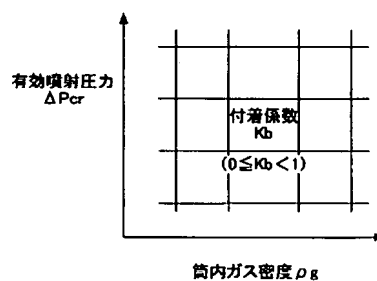
【図23】



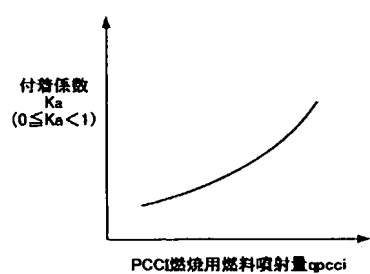
【図24】



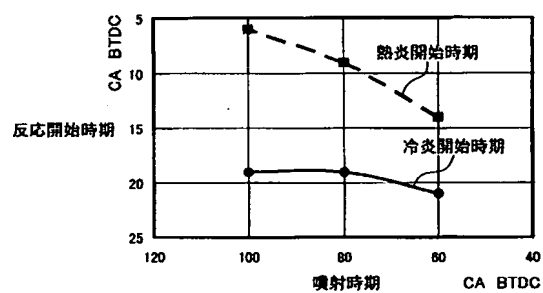
【図26】



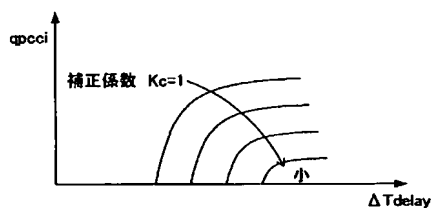
【図25】



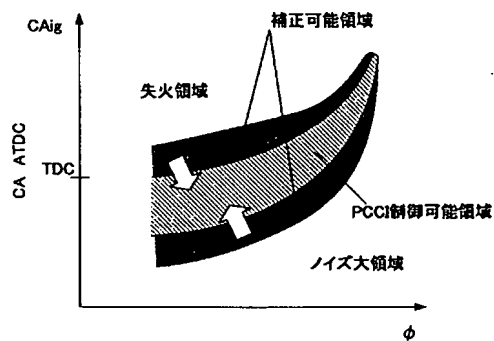
【図27】



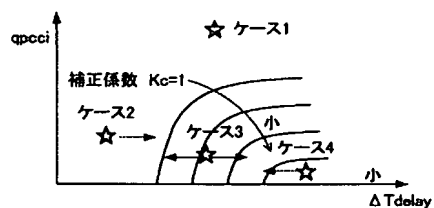
【図28】



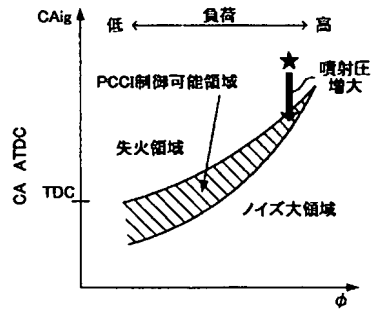
【図30】



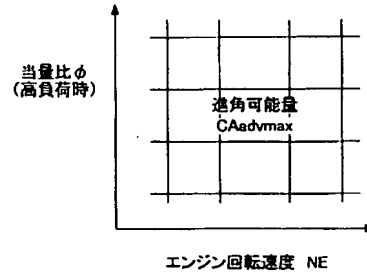
【図29】



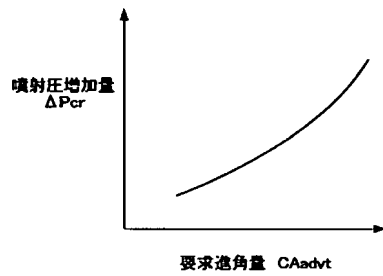
【図 3 1】



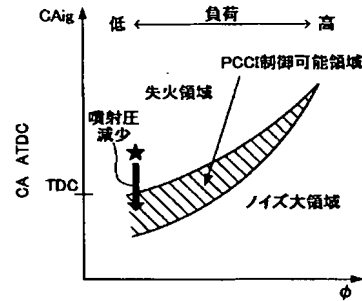
【図 3 2】



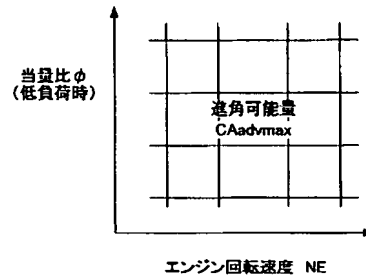
【図 3 3】



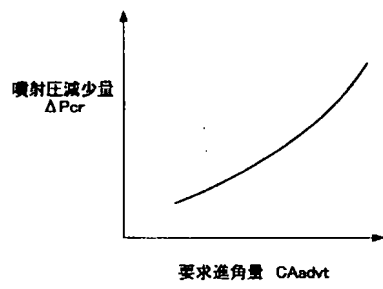
【図 3 4】



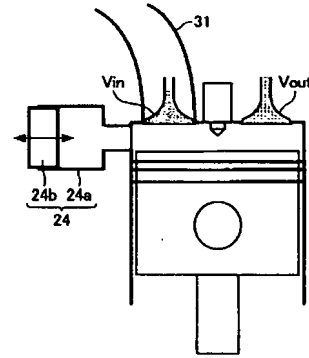
【図 3 5】



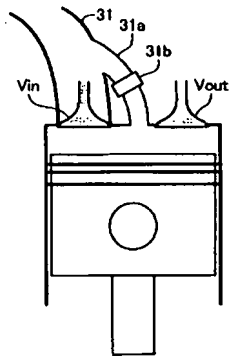
【図36】



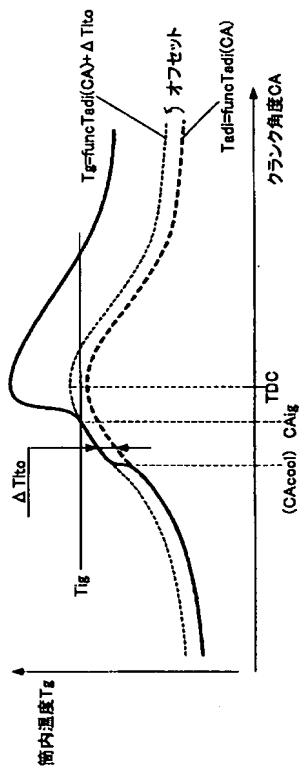
【図38】



【図37】



【図39】



フロントページの続き

(51)Int. Cl.⁷

F I

テーマコード (参考)

F 0 2 D 41/38

B

F 0 2 D 41/40

D

(72)発明者 上田 松栄

愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道 4 1 番地の 1 株式会社豊田中央研究所内

(72)発明者 中北 清己

愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道 4 1 番地の 1 株式会社豊田中央研究所内

(72)発明者 中山 茂樹

愛知県豊田市トヨタ町 1 番地 トヨタ自動車株式会社内

(72)発明者 北野 康司

愛知県豊田市トヨタ町 1 番地 トヨタ自動車株式会社内

(72)発明者 青山 太郎

愛知県豊田市トヨタ町 1 番地 トヨタ自動車株式会社内

(72)発明者 長谷川 亮

愛知県豊田市トヨタ町 1 番地 トヨタ自動車株式会社内

(72)発明者 小山 崇

愛知県豊田市トヨタ町 1 番地 トヨタ自動車株式会社内

F ターム(参考) 3G023 AA01 AB05 AC04 AG05

3G301 HA02 HA04 HA11 HA13 HA15 JA21 LB06 LB11 MA19 MA26

MA27 MA28 NC02 PA01Z PA07Z PA10Z PB01Z PD02Z PD11Z PD14Z

PE03Z PE08Z PF03Z

3G384 AA03 AA06 BA18 BA19 CA11 DA02 DA07 DA14 DA38 EE31

FA01Z FA06Z FA08Z FA20Z FA28Z FA34Z FA40Z FA45Z FA47Z FA58Z

FA86Z

PAT-NO: JP02005273513A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 2005273513 A

TITLE: DEVICE FOR ESTIMATING TIMING FOR MIXTURE
IGNITION OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE, AND CONTROL DEVICE
OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE

PUBN-DATE: October 6, 2005

INVENTOR-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
INAGAKI, KAZUHISA	N/A
WAKIZAKA, YOSHIFUMI	N/A
UEDA, MATSUE	N/A
NAKAKITA, KIYOMI	N/A
NAKAYAMA, SHIGEKI	N/A
KITANO, YASUSHI	N/A
AOYAMA, TARO	N/A
HASEGAWA, AKIRA	N/A
KOYAMA, TAKASHI	N/A

INT-CL (IPC): F02D045/00, F02B011/00 , F02D041/38 , F02D041/40

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To accurately estimate timing for self-ignition start of premix for PCCI combustion in consideration of calorific value produced by cool flames occurring partly in the premix prior to the self-ignition.

SOLUTION: In the device for estimating timing for mixture ignition, temperature of the premix for PCCI combustion (i.e. cylinder temperature T_g) is estimated in correspondence with a crank angle CA, then a point in time when the cylinder temperature T_g has reached a specified self-ignition-starting temperature T_{ig} is estimated as self-ignition-starting timing (CA_{ig}) for PCCI ignition of the premix. In this case, the estimation is done on the basis of a

state variable of cylinder gas at compression-start time (CAin)
 (thermal energy
 of cylinder gas at compression-start time), a rate of change of the
 state
 variable of the cylinder gas caused by compression in a compression
 stroke
 (minimal piston work), and a calorific value (cool flame calorific
 value
 ΔQ_{lto}) of cool flame generated prior to self-ignition (hot
 flames) in
 PCCI combustion time. Since the cool flame calorific value
 ΔQ_{lto} is
 taken into consideration, the self-ignition start timing for the PCCI
 combustion can be exactly estimated.

COPYRIGHT: (C)2006,JPO&NCIPI

----- KWIC -----

Abstract Text - FPAR (2):

SOLUTION: In the device for estimating timing for mixture
 ignition,
 temperature of the premix for PCCI combustion (i.e. cylinder
 temperature Tg) is
estimated in correspondence with a crank angle CA, then a point in
 time when
 the cylinder temperature Tg has reached a specified self-ignition-
 starting
 temperature Tig is estimated as self-ignition-starting timing (CAig)
 for PCCI
 ignition of the premix. In this case, the estimation is done on the
 basis of a
 state variable of cylinder gas at compression-start time (CAin)
 (thermal energy
 of cylinder gas at compression-start time), a rate of change of the
 state
 variable of the cylinder gas caused by compression in a compression
 stroke
 (minimal piston work), and a calorific value (cool flame calorific
 value
 ΔQ_{lto}) of cool flame generated prior to self-ignition (hot
 flames) in
 PCCI combustion time. Since the cool flame calorific value
 ΔQ_{lto} is
 taken into consideration, the self-ignition start timing for the PCCI
 combustion can be exactly estimated.